

DIE SPRECHMASCHINE WOLFGANG VON KEMPELENS – VON DEN ORIGINALEN BIS ZU DEN NACHBAUTEN

Fabian Brackhane

Abstract

As the first ever fully functional speech synthesizer, Wolfgang von Kempelen's 'speaking machine' can be considered a milestone in the history of speech research. Although von Kempelen and his research on speech and language has never been completely forgotten, not many people know about the details of his achievements. This article, which has been adapted from the author's Magister Artium thesis, comments on and describes in some detail von Kempelen's outstanding accomplishment and its historical context.

Zusammenfassung

Die Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens stellt in ihrer Art als erste grundsätzlich funktionierende Apparatur zur Sprachsynthese einen ganz besonderen Meilenstein in der Geschichte der Linguistik dar. Zwar gerieten Kempelen und seine Sprachforschung niemals völlig in Vergessenheit, doch sind seine und die Forschungen seiner Zeitgenossen heute nur noch einem eher kleinen Kreis näher bekannt. Im Rahmen dieser vom Autor ursprünglich als Magisterarbeit verfassten Abhandlung sollen der historische Kontext und die herausragende Leistung Kempelens detailliert dargestellt und kommentiert werden.

Inhalt

1. Einleitung	52
1.1. Ziel und Umfang der Arbeit	52
1.2. Vorbemerkungen	53
1.2.1. Zum Aufbau der Arbeit	53
1.2.2. Zur Terminologie und Orthografie	54
1.2.3. Zur Quellenlage	54
1.2.4. Zum Anhang	55
2. Wolfgang von Kempelen und Sprachsynthese im 18. Jahrhundert	55
2.1. Kempelen: ein Universalgelehrter des 18. Jahrhunderts	55
2.2. Sprachforschung im 17. und 18. Jahrhundert	58
2.3. Kempelens "Mechanismus der menschlichen Sprache"	61
2.4. Sprachsynthese im 18. Jahrhundert	66
2.4.1. Kratzenstein	67
2.4.2. Mical	71
2.4.3. Darwin	72
2.4.4. Exkurs: Das Orgelregister <i>Vox humana</i>	73
3. Die <i>Sprechmaschine</i> Wolfgang von Kempelens	75
3.1. Vorarbeiten	75
3.2. Die endgültige Sprechmaschine	78
3.2.1. Die Konstruktion	78
3.2.1.1. Subglottal: Blasebalg und Windlade	79
3.2.1.2. Glottal: Zungenpfeife	79
3.2.1.3. Supraglottal: Vokaltrakt	82
3.2.2. Zusammenfassende Bewertung	87
3.2.3. Die Sprechmaschine in zeitgenössischen Berichten	94
3.2.3.1. Allgemeine Beschreibungen	94
3.2.3.2. Zur Synthesequalität	97
4. Die <i>Sprechmaschine</i> in der späteren Rezeption	100
4.1. Nachbauten der Sprechmaschine und ihre Synthesequalität	100
4.2. Anmerkungen zum Saarbrücker Nachbau	108

4.2.1. Die Zungenpfeife(n)	109
4.2.2. Prosodische Effekte	114
4.2.3. Windlade und Frikativgeneratoren	115
4.2.4. Konstruktion des Blasebalgs	118
5. Diskussion	121
6. Bibliografie	128
7. Anhang	133
7.1. Tableaus II und X aus dem „Mechanismus der menschlichen Sprache“	133
7.2. Abbildung der <i>Sprechmaschine</i> nach Hindenburg (1784)	135
7.3. Abbildungen der erhaltenen Nachbauten der <i>Sprechmaschine</i>	136
7.3.1. Wheatstone 1835 (London)	136
7.3.2. Anonymus vor 1900 (Wien/München)	136
7.3.3. Liénard 1968 (Paris)	137
7.3.4. Howard 1993 (York)	137
7.3.5. Durin 2001 (Montluçon)	138
7.3.6. Nikléczy/Olaszy 2001 (Budapest)	138
7.3.7. Felderer/Strouhal 2004 (Wien)	139
7.3.8. Brackhane/Bauer 2007-09 (Saarbrücken)	140
7.3.9. Brackhane/Mayer 2009 (Dresden/Paderborn)	143
7.4. Exkurs zur Konstruktion von Lingualpfeifen	144

1. Einleitung

1.1 Ziel und Umfang der Arbeit

Die menschliche Sprache, ihre Grundlagen, Eigenschaften und die Ursache für ihre Existenz haben Menschen wohl schon immer beschäftigt und dies unter ganz verschiedenen Aspekten. So beschäftigen sich Gelehrte bereits seit vielen hundert Jahren aus unterschiedlichsten Blickwinkeln mit verschiedenen Fragestellungen zum Phänomen "Sprache" und nicht zuletzt auch damit, ob es gesprochene Sprache auch ohne den Menschen, ihren Sprecher, geben kann.

Diese Vorstellung, das Medium Sprache von seinem originären Erzeuger loszulösen, scheint von jeher eine große Faszination ausgeübt zu haben und übt es noch heute aus. So ist es nicht verwunderlich, dass besonders im forschungs- und technikbegeisterten 18. Jahrhundert ein regelrechter Wettlauf darum einsetzte, wem es als Erstem gelingen würde, eine grundsätzlich funktionierende und zugleich aber auch qualitativ überzeugende Methode zur Sprachsynthese bereitzustellen, eine Maschine zur Spracherzeugung also.

Der Preis in diesem "Wettforschen" kann in der Retrospektive schließlich mit gewissen Einschränkungen dem österreichisch-ungarischen Universalgelehrten Wolfgang von Kempelen (1734-1804) mit seiner in jahrzehntelanger Forschungsarbeit entwickelten Sprechmaschine zuerkannt werden. Dass die Forschungsarbeit Kempelens samt seiner Synthesemaschine offenbar wirklich gelungen war, zeigt der beeindruckende Widerhall, den die Publikation seines Buches *Mechanismus der menschlichen Sprache* (Kempelen 1791a, b) und die Vorführungen seiner Sprechmaschine auslösten und der bis in unsere Tage nicht vollkommen abgeklungen ist.

Zwar ist ein Original der Sprechmaschine offenbar nicht erhalten geblieben (vgl. Kapitel 4.1), doch entstand in den vergangenen zweihundert Jahren eine ganze Reihe von Nachbauten, die sich in aller Regel eng an der von Kempelen im *Mechanismus* überlieferten Beschreibung orientieren. Der in den Jahren 2007-09 am Institut für Phonetik der Universität des Saarlandes u. a. durch den Autor entstandene Nachbau und die aus ihm entwickelten Repliken in Dresden und Paderborn sind die momentan wohl jüngsten in dieser Reihe.

Allen diesen Nachbauten liegt als einzige mehr oder minder detaillierte und verlässliche Quelle die letztlich nicht immer zufriedenstellende Beschreibung Kempelens zugrunde, was zwangsläufig zu einer Vielzahl offener Fragen,

Vermutungen oder Interpretationen führt. Aus Anlass des Saarbrücker Nachbaues soll in dieser Arbeit eine kritische Abhandlung der Sprechmaschine mit einer phonetischen Untersuchung der von ihr bzw. ihren Nachbauten erzeugten Sprachsynthese verknüpft werden, um so möglicherweise einige der bis heute noch nicht gelösten Fragen zu beantworten, die dieses Meisterwerk der barocken Ingenieurskunst umgeben.

Der Gewinn von entsprechenden Erkenntnissen könnte im günstigsten Fall zur Beantwortung der Frage beitragen, warum es bis heute nicht gelungen ist, eine letztlich zufriedenstellende artikulatorische Sprachsynthese zu konstruieren. Da Kempelen mit seiner Maschine eine weitgehend authentische Nachahmung der menschlichen Physiologie anstrebte, lassen sich an und mit ihr artikulatorische und physikalische Beobachtungen anstellen, die einen gewissen Rückschluss auf die bis heute nicht restlos erklärte physiologische Vorgänge bei der menschlichen Sprachartikulation zulassen. Zwar sind wir heute nicht auf dem Forschungsstand des 18. Jahrhunderts stehen geblieben, doch gibt es nach wie vor einige Aspekte der menschlichen Sprachproduktion, die bis heute nicht abschließend und zufriedenstellend erforscht sind.

In dieser Arbeit soll außerdem der Frage nachgegangen werden, wie sich der bisweilen eklatante Widerspruch zwischen dem, in zeitgenössische Quellen beschriebenen, Klangeindruck der Kempelenschen Originalmaschine und dem anhand der modernen Nachbauten gewonnenen Klangeindruck möglicherweise erklären lässt. Hierzu werden nachfolgend die Forschungsarbeit Wolfgang von Kempelens und ihre Besonderheiten im geschichtlichen Kontext dargestellt. Anschließend wird auf die bekannten Nachbauten und die an ihnen sichtbar gewordenen Schwierigkeiten eingegangen.

1.2 Vorbemerkungen

1.2.1 Zum Aufbau der Arbeit

Die sprachsynthetischen Forschungen Wolfgang von Kempelens und seiner Zeitgenossen mussten zwangsläufig in "hardwarebasierte" Syntheselösungen münden, da virtuelle Möglichkeiten der Simulation und Synthese seinerzeit noch nicht zur Verfügung standen. Alle in dieser Arbeit dargestellten Lösungsansätze zur Sprachsynthese basieren zur Simulation der menschlichen Stimmlippen auf der Nutzung von sog. *Zungenpfeifen*, wie sie im Orgelbau seit Jahrhunderten Verwendung finden. Die Kenntnis der Konstruktions- und Funktionsweise sowie gewisser

relevanter entwicklungsgeschichtlicher Aspekte dieser Orgelpfeifen kann jedoch im gegebenen linguistischen Rahmen nicht vorausgesetzt werden.

Zudem erscheint es sinnvoll, die Forschungen Kempelens in Beziehung zu mehr oder minder zeitgleich veröffentlichten Arbeiten zur menschlichen Spracherzeugung zu setzen. Nur aus dem hieraus entstehenden Kontrast wird deutlich, wie wegweisend und grundlegend die Arbeit Wolfgang von Kempelens war.

Aus diesen Gründen erläutert diese Arbeit ergänzend zum Kernthema in notwendiger Ausführlichkeit und gebotener Knappheit sowohl den linguistischen als auch den (nur auf den ersten Blick peripher erscheinenden) instrumentenkundlichen Kontext, aus dem heraus Kempelens Arbeit entstand.

1.2.2 Zur Terminologie und Orthografie

Es gilt, auf terminologische und sprachliche Hürden hinzuweisen: Heißt es nun *Sprachmaschine* oder *Sprechmaschine*? Wolfgang von Kempelen selbst schrieb zumeist von der *Sprachmaschine* (Kempelen 1791a: 388), benutzte jedoch auch die Termini *sprechende Maschine* (Kempelen 1791a: 408) und *Sprechmaschine* (Kempelen 1791a: 398).

Während die Autoren der zeitgenössischen Sekundärliteratur weitgehend den Terminus *Sprachmaschine* gebrauchten (Hindenburg 1784: 47, Ebert 1785: 44, Goethe 1893: 154), trifft man in der neueren Literatur in der Regel auf die Formulierung *Sprechmaschine* (Pompino-Marschall 1991: 191, Felderer & Strouhal 2004: o.S., Reininger 2007: 325). Daher wird es in der vorliegenden Arbeit so gehandhabt, dass in Zitaten stets der original darin befindliche Terminus verwendet wird, im freien Text hingegen durchgehend der Ausdruck *Sprechmaschine*.

Im Übrigen wurde bei der Zitation sämtlicher Quellen grundsätzlich deren Orthografie und Interpunktion übernommen; hier gelten naturgemäß bisweilen erheblich andere Regeln, als sie heute gebräuchlich sind.

1.2.3 Zur Quellenlage

Einige Informationen, die für die Konzeption und Erstellung dieser Arbeit notwendig waren, konnten nicht aus publizierten Quellen gewonnen werden, sondern stammen aus der persönlichen Korrespondenz des Autors mit ausgewiesenen Fachleuten zu den jeweiligen fraglichen Aspekten. Der Autor ist sich der Problematik durchaus bewusst,

die derartigen Quellen und ihrer Verwendung in einer wissenschaftlichen Arbeit innewohnt. Jedoch waren beispielsweise die persönlichen Mitteilungen von Herrn Orgelbaumeister (OBM) Stephan Mayer (Heusweiler/Saar) aufgrund seiner hohen Kompetenz durch langjährige praktische Erfahrung für diese Arbeit von erheblicher Wichtigkeit. Nur durch sie waren essentielle Erkenntnisse zur Konstruktion der Kempelenschen Sprechmaschine möglich. Daher wurden solche elementaren Informationen in diese Arbeit mit aufgenommen und stets als persönliche Mitteilungen gekennzeichnet.

1.2.4 Zum Anhang

Die Verwendung von Abbildungstabellen aus Wolfgang von Kempelens *Mechanismus der menschlichen Sprache* im laufenden Text wurde aus Rücksicht auf den Umfang und die Übersichtlichkeit dieser Arbeit auf das Nötigste beschränkt. Die in dieser Arbeit mehrfach beigezogenen Tableaus XVII – XXVI des *Mechanismus* finden sich vorstehend, anschließend an die transliterierte Fassung der *V. Abtheilung. Von der Sprachmaschine*. Lediglich die Tableaus II und X, die in den vorangehenden Kapiteln des *Mechanismus* enthalten sind, finden sich als Abbildungen 19 und 20 im Anhang 7.1. Im Text wird stets – wo notwendig – auf die jeweilige Tableaunummer verwiesen.

Für Abbildungen der unterschiedlichen in dieser Arbeit behandelten Repliken der Sprechmaschine bietet der Anhang 7.3 zu jedem Nachbau – soweit verfügbar – eine oder mehrere Fotografien.

Zum besseren Verständnis der Funktionsweise der für diese Arbeit zentralen Zungen- oder *Lingualpfeifen* bietet der Anhang 7.4 einen knappen Exkurs zur Konstruktion dieser Orgelpfeifen.

2. Wolfgang von Kempelen und Sprachsynthese im 18. Jahrhundert

2.1 *Kempelen: Ein Universalgelehrter des 18. Jahrhunderts*

Der Name Wolfgang von Kempelen ist auch heute noch vielen Menschen ein Begriff, in aller Regel assoziiert mit dem sog. "Automatischen Schachspieler" oder "Schachtürken", den Kempelen (um) 1769 schuf. Nur einer kleinen Forschergemeinde ist dagegen seine umfangreiche Tätigkeit auf dem Gebiet der grundlegenden Erforschung des Phänomens "Sprache" und der Sprachsynthese bekannt. Umso mehr

hat sich in den vergangenen zweihundert Jahren eine schier unentwirrbare Menge von Legenden und fehlerhaften Zuschreibungen mit dem Namen Wolfgang von Kempelen verbunden, die mitunter bis weit in die seriöse Sekundärliteratur hineinreichen (Reininger 2007: 6). Bevor die im weitesten Sinne linguistische Forschungsarbeit Kempelens vorgestellt wird, erscheint es daher sinnvoll und notwendig, einen kurzen biografischen Überblick zu geben.

Wolfgang von Kempelen wurde am 23. Januar 1734 im damals ungarischen Preßburg, dem heutigen slowakischen Bratislava, als Sohn des k. k. Hofkammerrats Engelbrecht (von) Kemp(e)len geboren. Aufgrund dieser Herkunft begegnet sein Name je nach Literaturquelle auch in der ungarischen Form "Kempelen Farkas (Lovag)" (Dudley & Tarnoczy 1950: 151).

Kempelen absolvierte (vermutlich in Wien) ein Studium der Philosophie und Rechtswissenschaft in Wien und machte anschließend eine Bildungsreise nach Italien (Pompino-Marschall 1991: 184). Bald darauf wurde er Mitglied der Kommission, die den Codex Theresianus, den ambitionierten Entwurf Maria Theresias zu einer Art "Grundgesetz", ins Deutsche (nach anderen Quellen: ins Ungarische) übertragen sollte. Diese Aufgabe bestand er derart überzeugend, dass er in Folge dessen verschiedene Hofämter und administrative Aufgaben erhielt, wie beispielsweise die Wiederbesiedlung des Banat (Pompino-Marschall 1991: 184).

Kempelen war jedoch ein für das 18. Jahrhundert typischer Universalgelehrter. Er wirkte als Architekt, Ingenieur, Naturwissenschaftler, Zeichner, Schriftsteller, Komponist und sprach – beinahe schon selbstverständlich – ein knappes Dutzend Sprachen (Brekle & Wildgen 1972: IX).

Neben so repräsentativen Tätigkeiten wie der Entwicklung von Dampfmaschinen, Brunnenanlagen und der Konstruktion eines fahrbaren Bettes für die Kaiserin Maria Theresia beschäftigte Kempelen sich auch mit weniger augenfälligen Problemstellungen. So ermöglichte er der als Kind erblindeten Pianistin, Sängerin und Komponistin Maria Theresia Paradis – einer Schülerin Antonio Salieris – durch eine frühe Form der Blindenschrift zu lesen und schreiben. Kempelen entwickelte hierzu eine Art Schreibmaschine, die nach dem Funktionsprinzip eines Setzkastens die Buchstaben wahrscheinlich reliefartig ins Papier prägte und die somit einen Vorläufer der heutigen Blindenschrift darstellte (Pompino-Marschall 1991: 188). Über diese Entwicklung ist heute leider nicht mehr bekannt als die Tatsache, dass Paradis sich in einem auf eben dieser Schreibmaschine verfertigten Brief überschwänglich bei Kempelen bedankte (Pompino-Marschall 1991: 189).

Überhaupt scheint Kempelen sich recht intensiv mit der Problematik von menschlichen Sinnesdefiziten befasst zu haben. Kurz nach Fertigstellung der Blindenschreibmaschine wandte Kempelen sich der Problematik der Gehörlosigkeit und der damals nahezu zwangsläufig daraus resultierenden "Sprachlosigkeit" zu. Den hiervon betroffenen, sog. "taubstummen" Menschen wollte er ein Hilfsmittel an die Hand geben, um ihre Kommunikation mit der "gesunden" Umgebung zu erleichtern.

Etwa zur gleichen Zeit, als Kempelen 1769 aufgrund einer Wette mit der Kaiserin Maria Theresia seinen "Schachtürken" entwickelte, begann er sich auch intensiv mit der Idee zu beschäftigen, Sprache oder zumindest einzelne Sprachlaute in irgendeiner Weise synthetisch zu erzeugen (Kempelen 1791a: 389 f.). Anders als bei der Arbeit am Schachtürken, die ihn (vorgeblich) nur ein halbes Jahr beschäftigte, sollte Kempelen hierfür aber über zwei Jahrzehnte der Forschung und Mühe aufwenden, bis er der Öffentlichkeit eine in seinen Augen umfassende Darstellung des Phänomens *Sprache* nebst einer Erläuterung seiner *Sprechmaschine* vorlegen konnte. Diese zutiefst ernsthafte wissenschaftliche Betätigung ist – wie die meisten erstaunlichen Fähigkeiten und Tätigkeiten Kempelens – im Laufe der Zeit nahezu völlig durch die Legendenbildung überdeckt worden.

Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass Kempelen bisweilen bei seinen Tätigkeiten und Titeln mit seinen ebenfalls in ihren jeweiligen Gebieten erfolgreichen Brüdern verwechselt wurde. Dies gilt beispielsweise für seine Apostrophierung als "Ritter", seine angebliche Mitgliedschaft in einer Freimaurerloge bzw. der ungarischen Jakobinerbewegung und einiges mehr (Reininger 2007: 24 ff.).

Im Jahre 1798 sucht Kempelen um seine Pensionierung nach und wird unter Beibehaltung seiner vollen Bezüge in den Ruhestand entlassen (Reininger 2007: 19). Die bisweilen vorfindliche Meinung, Kempelen sei zuvor durch die Josephinischen Reformen seiner Pension verlustig gegangen, habe diese anlässlich seiner Jubilierung von Neuem erhalten und sei zum Ritter des Heiligen römischen Reiches geschlagen worden (vgl. bspw. Pompino-Marschall 1991: 189), beruht offenbar ebenfalls auf dem bereits oben genannten nur schwer durchdringbaren Geflecht aus Legenden, die sich um Kempelens tatsächliche Biografie ranken.

Wolfgang von Kempelen starb am 26. März 1804 in der Wiener Alservorstadt.

"Sein Tod war eine Folge des Alters, mehr aber seiner ausserordentlichen Anstrengung des Geistes." (J. Karl Unger, zitiert nach Brekle & Wildgen 1970: XI)

2.2 *Sprachforschung im 17. und 18. Jahrhundert*

Bereits seit der Antike wogte ein mitunter heftig geführter Streit über das Wesen und den Ursprung der menschlichen Sprache. Schon der Philosoph Aristoteles und der Arzt Galenos suchten nach einer wissenschaftlichen Erklärung für das Phänomen "Sprache" bzw. nach ihrer physiologischen Grundlage. Im 17. und 18. Jahrhundert kam zu dieser Fragestellung noch die Diskussion um den göttlichen oder menschlichen Ursprung der Sprache auf, an dem sich so bekannte Geister wie Johann Peter Süßmilch oder Johann Gottfried Herder beteiligten (Brekke & Wildgen 1972: XII).

Die vermeintlichen Erkenntnisse der Gelehrten dieser Jahrhunderte waren jedoch nur allzu oft von der Wirklichkeit weit entfernt. So entwickelte Franciscus Mercurius van Helmont 1667 eine Theorie, nach der es sich beim Hebräischen um jene "Ursprache" handle, die von vielen Gelehrten seinerzeit postuliert wurde. Als Beleg für seine Theorie führte van Helmont an, dass die hebräischen Schriftzeichen die jeweils zur Artikulation des entsprechenden Lautes notwendige Zungenstellung widerspiegeln würden (Dudley & Tarnoczy 1950: 153, sowie Kempelen 1791a: 143 ff.). Dies suchte er auch mit einer Reihe von Kupferstichen zu belegen, die in Sagittalschnitten die vermeintliche Artikulationsstellung der Zunge bei verschiedenen hebräischen Lauten zeigen sollten (vgl. Abb. 1). Allerdings irrte er sich in dieser Annahme grundlegend. Kempelen merkt hierzu an:

"Seine [FB: van Helmonts] erhitzte Phantasie hat der Zunge Krümmungen und Schnörkel angedichtet, die sie nicht nur bey den Buchstaben, von denen es sich handelt, nie annimmt, sondern auch bey gar keiner anderen Gelegenheit anzunehmen fähig ist." (Kempelen 1791a: 144)

Näher an den physiologischen Tatsachen lag van Helmonts Zeitgenosse John Wilkins, ein englischer Bischof. Er entwickelte um 1668 ein von ihm sogenanntes "artikulatorisches Alphabet". Hierbei waren die einzelnen Lautzeichen in Anlehnung an die jeweils notwendige artikulatorische Geste gestaltet (vgl. Abb. 2). So wählte Wilkins für den Laut [o] einen geschlossenen Kreis, der die Lippenrundung bei der Bildung dieses Lautes widerspiegelt, während den Laut [p] zwei Halbkreise symbolisieren, die mit ihrer jeweils geschlossenen Seite aufeinander stehen. Dies ist eine recht treffende ikonische Darstellung der geschlossenen Lippen bei der Bildung dieses Lautes. Die symbolische Repräsentation anderer Laute gestaltete sich bereits komplizierter, doch ist das Bemühen um eine möglichst getreue Wiedergabe der artikulatorischen Vorgänge erkennbar (Dudley & Tarnoczy 1950: 153).

Auch im achtzehnten Jahrhundert war das Interesse an dem Phänomen der menschlichen Sprache nicht minder stark. Neben Wolfgang von Kempelen, über dessen elementare und wegweisende Forschungen noch zu sprechen sein wird, betätigte sich unter anderem Erasmus Darwin (1731-1802) auf dem Gebiet der Sprachforschung. Darwin hatte sich durch eine Ausbildung zum Arzt und die sehr erfolgreiche Ausübung dieses Berufes für dieses Forschungsgebiet grundsätzlich qualifiziert und stand durch seine Mitgliedschaft in der Royal Society in Kontakt mit anderen Geistesgrößen des 18. Jahrhunderts wie Benjamin Franklin oder Jean-Jacques Rousseau.



Abb. 1. Mercurius van Helmont: Artikulationsstellung für [m] (Dudley & Tarnoczy 1950: 153).



Abb. 2. John Wilkins' Artikulatorisches Alphabet (Ausschnitt) (Dudley & Tarnoczy 1950: 154).

Wie auch bei Kempelen resultierten Darwins Forschungen zur menschlichen Sprache aus einem grundlegenden Interesse an Fragen zur Funktion des menschlichen Körpers, das ihn in manchen Punkten zum Wegbereiter der Theorien seines Enkels Charles Darwin werden ließ. Seine naturwissenschaftlichen Studien kombinierte Darwin mit einer ausgeprägten Vorliebe zur Poesie, die ihn seine Publikationen zum Teil in Versform verfassen ließ. So steht sein erst 1803 postum veröffentlichtes Buch *The Temple of Nature* vollständig in Versen und dementsprechend auch die dortige "Additional Note XV", in der er in einem ausführlichen Diskurs seine Ansichten zur Phonetik und Sprachproduktion darlegte (Jackson 2005: 219). Diese beinhalteten auch ein grundlegend ausgearbeitetes phonetisches Alphabet, das sich in weiten Teilen mit den heutigen Standards der IPA deckt. Zudem argumentierte Darwin voll und ganz als Anhänger der *Quelle-Filter-Theorie* (Jackson 2005: 219). Wiederum ähnlich wie auch bei Kempelen resultierte aus diesen Forschungen Darwins nahezu zwangsläufig die Entwicklung einer artikulatorischen Sprachsynthese zur Überprüfung der eigenen Theorien.

2.3 Kempelens "*Mechanismus der menschlichen Sprache*"

Erst sieben Jahre (!) nach der gedruckten Ankündigung veröffentlichte Kempelen sein Buch "Wolfgangs von Kempelen k. k. wirklichen Hofraths Mechanismus der menschlichen Sprache nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine". In seiner endgültigen Ausführung war das Buch gegenüber den ursprünglichen Planungen Kempelens erheblich erweitert (Pompino-Marschall 1991: 210).

In Fachkreisen hatte man geradezu sehnsüchtig auf das Erscheinen gewartet. Bereits in den 1780er Jahren wurden Zeitungsartikel über Kempelens Forschungen veröffentlicht, in denen auch der Wunsch geäußert wurde, Kempelen möge doch bald seine angekündigten Forschungsergebnisse veröffentlichen (Anonymus 1784a: 182). Der *Mechanismus* erschien schließlich 1791 in einer deutsch-französischen Parallelaufgabe mit insgesamt 195 Exemplaren bei 122 Subskribenten.

Auf insgesamt 456 Seiten breitete Kempelen in fünf Kapiteln und mit 25 – eigenhändig gestochenen – Abbildungstafeln eine umfassende Abhandlung über das Wesen der menschlichen Sprache aus, die zu ihrer Zeit derart revolutionär war, dass sie noch 60 Jahre später als "eines der besten physiologischen Bücher" (Ernst Brücke, zitiert nach Brekle & Wildgen 1970: XXI) gepriesen wurde und manche der damals umwälzenden Erkenntnisse bis heute ihre Gültigkeit behalten haben (So z.B. Kempelens Beschreibung der *Koartikulation* und deren grundlegender Bedeutung für die Artikulation und Perzeption der menschlichen Sprache. Weiter sind Kempelens Beschreibung des Zusammenhangs von Tonhöhe und Vokalqualität (Kempelen 1781: 196), die in Grundzügen vorhandene komparative Physiologie und die Beschreibung der Fähigkeit zur Sprache als Nebeneffekt der Physiologie (Brekle & Wildgen 1970: XXI f.) zu nennen.). Kempelen selbst sah den Nutzen seiner Veröffentlichung eher pessimistisch:

"Aller Nutzen – alles Verdienst, das meine gesammelte Entdeckungen haben dürften, mag wohl nur darin bestehen, daß dadurch bey einigen Taubstummen der Unterricht im Sprechen erleichtert, und ein Theil derjenigen Menschen, die eine fehlerhafte Aussprache haben, durch meine Anleitungen davon geheilt werden kann. Wenn daher der Werth dieses Buches von der Seite seines Nutzens betrachtet, eben nicht hoch angegeben werden sollte, so dürfte es sich doch bey manchem Naturforscher, und Freunde des Sonderbaren durch seine Neuheit empfehlen."
(Kempelen 1791a: Vor Erinnerung)

Die fünf "Abtheilungen" des "Mechanismus" tragen die Titel:

- 1) "Von der Sprache überhaupt"
- 2) "Gedanken über die Fragen: ob die Sprache von Menschen erfunden, oder ob sie ihnen anerschaffen worden ist? Ob alle Sprachen aus Einer Grundsprache entstanden sind? "
- 3) "Von den Werkzeugen der Sprache und ihren Verrichtungen"
- 4) "Von den Lauten oder Buchstaben der europäischen Sprachen"
- 5) "Von der sprechenden Maschine. Geschichte dieser Erfindung."

Einige der von Kempelen im "Mechanismus" aufgestellten Theorien seien hier genannt:

- Sprache ist "das Vermögen unsere Empfindungen oder Gedanken durch verschieden zusammengesetzte Laute der Kehle anderen bekannt zu machen" (Kempelen 1791a: 24).
- Die menschliche ist von der tierischen Sprache grundsätzlich verschieden: "künstliche" [FB: kunstvolle] vs. "natürliche" [FB: urwüchsige, nicht intellektuell durchdrungene] Sprache (Kempelen 1791a: 2 ff.).
- Die Gabe der Sprache ist eine menscheneigene Entdeckung, dazu war keine göttliche Gabe notwendig:

"Und hierin liegt eben der große Beweis, daß die Sprache nicht unumgänglich mußte von dem Schöpfer eingegeben werden, sondern daß sie von dem Menschen stufenweise erfunden werden konnte. Denn, hat man eine Sprache durch Handzeichen für das Aug erfinden können, so läßt sich kein Grund dafür finden, warum man nicht auch eine Sprache durch Töne für das Ohr hätte erfinden, und eine so wie die andere nach und nach ausbilden können." (Kempelen 1791a: 17f)

- Eine "Ursprache", aus der alle heute existierenden Sprachen entstanden sind, existiert nicht (Kempelen 1791a: 35 ff.). Als Beleg führt Kempelen hier unter anderem die Gegenüberstellung einiger "allgemeiner Wörter" aus dem Deutschen und Ungarischen an, um aufzuzeigen, dass diese in einem höchstens sehr weitläufigen Verwandtschaftsverhältnis stehen können (Kempelen 1791a: 36 ff.)

- Die Sprache ist faktisch nur ein "Nebenprodukt" der charakteristischen Anlage verschiedener physiologischer Gegebenheiten beim Menschen:

"Der Mund mit seinen Organen, wie auch Kempelen zugeibt, ist hauptsächlich zur Befriedigung des großen Bedürfnisses aller Geschöpfe, zu deren Ernährung, eingerichtet, und die Hervorbringung von Tönen ist nur ein sekundärer Zweck desselben." (Willis 1832: 399 f.)

- Die Qualität eines Vokallautes wird nicht allein durch den Öffnungsgrad des Mundes bestimmt (Kempelen 1791a: 192 ff.)

Im vierten Kapitel seines Buches, das beinahe die Hälfte (!) von dessen Umfang ausmacht, gibt Wolfgang von Kempelen eine Beschreibung "aller europäischen Laute" (Kempelen 1791a: 178). Hierbei geht er überaus gewissenhaft vor, schildert zunächst die an der Artikulation beteiligten Artikulatoren und Artikulationsstellen, beschreibt den Artikulationsvorgang und auftretende Varianten. Ebenso listet er zu jedem "Buchstaben" häufig vorkommende Artikulationsfehler auf, zu denen er auch regionale Aussprachevarianten zählt (So wertet er beispielsweise die süddeutsche Aussprache "Pier" für "Bier" als pathologisch (Kempelen 1791a: 246).).

Problematisch an dieser Beschreibung ist jedoch die Tatsache, dass Kempelen ganz offenbar trotz seiner fundamentalen Erkenntnisse nicht fähig oder willens war, bei der Konzeption seines *universellen Alphabets* eine Abstraktion der lautlichen Ebene von der Schriftebene vorzunehmen. Seine Beschreibung orientiert sich am lateinischen Alphabet, wobei manchen Buchstaben geradezu willkürlich Lautqualitäten zugewiesen werden, die diese nicht von vornherein eindeutig besitzen (So wird der lateinische Buchstabe "j" von Kempelen für den stimmhaften postalveolaren Frikativ verwendet, den dieser zwar beispielsweise im Französischen auch repräsentiert ("Journal"), nicht jedoch im Deutschen ("Jahr") oder Spanischen ("Jesus") (Kempelen 1791a: 186, 345 ff.).

Die Lautqualität des velaren Nasalkonsonanten negiert Kempelen hingegen (Kempelen 1791a: 107).). Andererseits beschreibt Kempelen die Lautqualität von Buchstaben als unterschiedlich, die sich de facto nur in der Schrift, nicht jedoch akustisch in den von ihnen repräsentierten Lautqualitäten unterscheiden und ignoriert Laute, für die zumindest im Deutschen keine Monogramme zur Verfügung stehen (Den Buchstaben "v" und "w" weist Kempelen unterschiedliche zugrundeliegende Lautqualitäten in Form von Fortis- und Lenis-Frikativ (beide stimmhaft) zu (vgl. Kempelen 1791a: 186 und 357 ff.).).

Hinzu kommt die in der Retrospektive irritierende Tatsache, dass Kempelen von einem Bestand von gerade einmal sechzehn "Hauptlauten" weltweit (sic!) ausging:

"Wenn man aus dem gewöhnlichen Alphabethe die überflüssigen Buchstaben c. q. x. y. wegläßt, und die Analoguen B P, D T, G K, u. d. gl: die ohnedieß in den Mundarten beständig mit einander verwechselt werden, für Eines gelten läßt, so werden nicht über 16 Hauptlaute bleiben." (Kempelen 1791a: 32)

Wie bereits erwähnt, waren jedoch einige Erkenntnisse und Methoden Kempelens für seine Zeit geradezu revolutionär und manche davon haben ihre Gültigkeit bis heute nicht eingebüßt. Die Beschreibung von Stimmritze, Nase mit Velum, Mund, Zunge, Zähnen und Lippen als Artikulatoren und von Lunge, Luftröhre und Larynx mit Glottis als zur Stimmerzeugung notwendigen Werkzeugen entspricht im wesentlichen der auch heute noch in der artikulatorischen Phonetik benutzten Klassifikation.

"Seit Kempelen gelten die wesentlichen Funktionen des Ansatzrohres als erkannt. Die Theorie, die bei der Spracherzeugung dem Kehlkopf die primäre Funktion und die sekundäre dem Ansatzrohr beimaß, wird bei ihm überwunden." (Köster 1972: 97)

Allerdings befand sich Kempelen (wohl auch in Ermangelung zuverlässiger Analysemethoden) auf einem Irrweg, was die Anatomie und Funktion der Glottis betrifft:

"Ausgehend von einer Synthese der Theorien Ferreins [FB: Antoine Ferrein (1693–1769), frz. Mediziner und Anatom] (der Larynx ist ein Saiteninstrument) und Dodarts [FB: Denis Dodart (1634–1707), frz. Arzt und Botaniker] (der Larynx ist ein Windinstrument) versteifte sich Kempelen auf das Modell einer membranösen Zungenpfeife." (Köster 1972: S. 98, vgl. auch Kempelen 1791: 83 und Abb. 3 bzw. Tab. II im Anhang).

Dass Kempelen für seine Sprachsynthese jedoch eben keine solche Pfeife als Anregungsinstrument einsetzte, belegt das Scheitern seiner Theorie in der Praxis. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass Kempelen mit einer durchaus interessanten Argumentation die unmodulierte Luft als Grundbestand der menschlichen Sprache definierte:

"Die Stimme [FB: durch Glottisschwingungen angeregte Luft] ist noch bey weitem nicht Sprache, sie ist nur ein Theil, ein Mittel, oder gleichsam Werkzeug dazu. [...] Eigentlich ist sie bey der Sprache nicht unumgänglich nöthig. Man braucht sie nur [FB: um] in einer größeren Entfernung gehört zu werden. Wenn die Menschen sich immer ganz nahe wären, und ein jeder ein feines Gehör hätte, könnten sie eben so gut leise, das ist, mit bloßem Winde sprechen. Man könnte daher wohl auch bloße tonlose Luft zum Hauptwerkzeuge der Sprache annehmen. Ich kann auf meiner Sprachmaschine ganz vernehmlich mit bloßem Winde sprechen, wenn ich in das Stimmrohr ein kleines Stück Holz lege, und dadurch die Vibration verhindere." (Kempelen 1791a: 60)

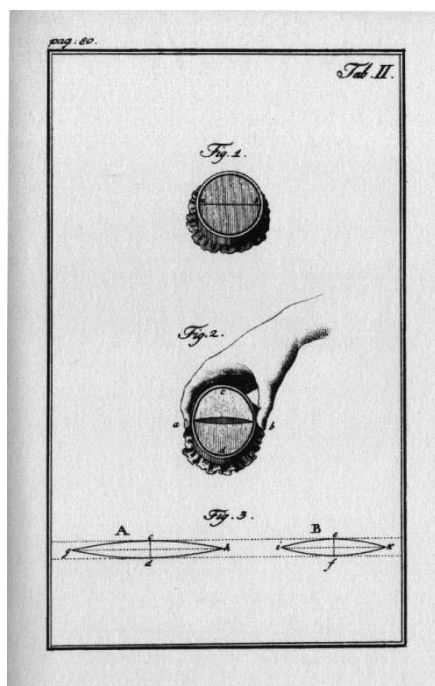


Abb. 3. Kempelens *membranöse Pfeife* (Kempelen 1791a: Tab. II).

Auch war Kempelen der erste, der ein erst in jüngerer Zeit durch Perkell (1969) bestätigtes Vokalschema nach den beiden unabhängigen Merkmalen Mundöffnung und Öffnung des von Kempelen sog. "Zungenkanals", also der horizontalen Position der Zunge im Mund anlegte, wobei bei letzterem auch die Kehlkopfbewegung mit eingerechnet ist:

"Man legt den Finger steif auf die Gurgel, den sogenannzen Adamsampfel (Larynx) dann spricht man die zwey voneinander entferntesten [FB: Vokale] aus, nämlich U und I. Man wird fühlen, wie sich dieser Knorpel, mit dem die Wurzel der Zunge genau zusammenhanget, mit derselben bald hebt, bald wieder nieder läßt, je nachdem die Zunge den Kanal erweitert oder verengert" (Kempelen 1791a: 196, vgl. auch Kempelen 1791a: 189 ff. und Tab. X im Anhang).

Angesichts der Tatsache, dass Kempelen seine Beobachtungen, die erst durch den Einsatz von Röntgenfilmen weitgehend bestätigt werden konnten, lediglich mithilfe eines Spiegels machte, darf dies als eine große systematische Leistung bezeichnet werden.

Die Arbeiten von C. F. Hellwag (1781), der die Vokale analog zum Farbendreieck in Dreiecksform schematisierte, scheint Kempelen offenbar nicht gekannt zu haben. Kempelens Erkenntnis, dass die Vokalqualität mit der Stimmtonhöhe korreliert, wurde erst Jahrzehnte später durch Robert Willis (1830) experimentell belegt (s.u.).

Kempelen war ebenfalls der erste, der Konsonanten binär charakterisierte. Er teilte die Konsonanten in vier Gruppen von "Mitlauten" ein, die jeweils mit den Merkmalen \pm *Stimmhaftigkeit* und \pm *Friktion* beschrieben wurden (vgl. Kempelen 1791a: 230 ff und Brekle & Wildgen 1970: XXXIV):

ganz stumme: P, T, K [FB: - Stimmhaftigkeit, - Friktion]

Windmitlauter: F, H, CH, S, SCH [FB: - Stimmhaftigkeit, + Friktion]

Stimmmitlauter: B, D, G, L, M, N [FB: + Stimmhaftigkeit, - Friktion]

Wind- und Stimmmitlauter: R, J, W, Z [FB: + Stimmhaftigkeit, + Friktion]

2.4 *Sprachsynthese im 18. Jahrhundert*

Bemühungen, Sprache ohne menschlichen Sprecher erzeugen zu können, gibt es seit der Antike. So ist die Existenz einer Art *Sprechmaschine* im Orpheus-Orakel auf Lesbos überliefert, ebenso sind die Versuche von Albertus Magnus (1200-1280) und Roger Bacon (1214-1292/4) bekannt, sog. *sprechende Köpfe* herzustellen. In allen Fällen scheinen etwaige Ergebnisse jedoch eher auf Phänomenen wie Wahrnehmungstäuschungen basiert zu haben als auf tatsächlichen technisch erfolgreichen Konstruktionen (Dudley & Tarnoczy 1950: 152). Die ersten

ernstzunehmenden Versuche zur Sprachsynthese gab es schließlich im 18. Jahrhundert, das auch als das "Goldene Jahrhundert der Automaten" bezeichnet wird, wobei die Bezeichnung "Halb-Automaten" hierbei korrekter wäre, da stets die steuernde Intervention eines menschlichen Bedieners vonnöten war (Grassegger 2004: 37).

Herausragende Beispiele für den Erfindergeist dieses Jahrhunderts sind beispielsweise das "Schreibende Kind" von Le Droz oder die Konstruktionen von Vaucanson (Dudley & Tarnoczy 1950: 152). Letzterer stellte 1736 einen "Mechanischen Flötenspieler" vor, der nicht nur sämtliche Griffe beherrschte, die zum Spiel auf einer damals gebräuchlichen Traversflöte nötig waren, sondern dazu auch noch die ebenfalls korrekten, variierenden Lippenstellungen. Zwei Jahre darauf stellte Vaucanson seinen "Canard miraculeux" vor. Diese mechanische Ente konnte offenbar nicht nur mit den Flügeln schlagen und watscheln, sie konnte auch trinken, Futter aufpicken und dieses – nur konsequent – auch verdauen und wieder ausscheiden (Dudley & Tarnoczy 1950: 152). Angeblich dienten Vaucanson diese beiden Apparate als Vorstudien zu einem projektierten sprechenden Androiden, der aber wohl nie Realität wurde (Grassegger 2004: 37).

In der Reihe dieser Aufzählungen darf natürlich der geradezu legendäre "Mechanische Schachspieler" oder "Schachtürke" Wolfgang von Kempelens nicht fehlen. Kempelen konstruierte diesen (vorgeblich) im Jahre 1769 binnen eines halben Jahres, nachdem er mit der österreichischen Kaiserin Maria Theresia eine entsprechende Wette abgeschlossen hatte (Pompino-Marschall 1991: 185).

2.4.1 *Kratzenstein*

Nahezu zeitgleich mit Kempelen arbeitete der Gelehrte Christian Gottlieb Kratzenstein (1723-1795) an einer Lösung zur Sprachsynthese. Kratzenstein, geboren in Wernigerode, studierte und lehrte anschließend in Halle an der Saale, folgte 1748 einem Ruf an die Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg und ging schließlich 1753 als Professor für Experimentalphysik an die Universität Kopenhagen (Müller 2008: 143 ff.). Der Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783), über die Petersburger Akademie mit Kratzenstein verbunden, regte 1768 die Entwicklung einer sprechenden Maschine an:¹

"La construction d'une machine propre à exprimer tous

¹ Die grundlegende Idee hierzu stammt vermutlich aus *Harmonie universelle: Contenant la théorie et la pratique de la musique* von Marin Mersenne (1636) (Persönliche Mitteilung von Gordon Ramsay).

le sons de nos paroles, avec toutes les articulations, seroit sans-doute une découverte bien importante. Si l'on réussissoit à l'exécuter, & qu'on fut en état de lui faire prononcer toutes les paroles par le moyen de certaines touches, comme d'une orgue ou d'un clavecin, tout le monde seroit surpris, avec raison, d'entendre prononcer à une machine des discours entiers ou des sermons, quil seroit possible d'accompagner avec la meilleur grace. Les prédicateurs & les orateurs, dont la voix n'est pas affées forte ou agréable, pourroient alors jouer leurs sermons & discours sur cette machine, comme les organistes des pièces de musique. La chose ne me paroît pas impossible" (Euler 1775: 246 f.)

"Die Prediger und Redner, deren Stimmen nicht stark oder angenehm genug wäre, könnten alsdann ihre Predigten und Reden auf einer solchen Maschine spielen, so wie jetzt die Organisten Musikstücke spielen." (Übers. FB)

Wohl infolge dessen stellte die Petersburger Akademie im Jahre 1780 eine in diese Richtung zielende zweigeteilte Preisfrage:

"1) Qualis sit natura et character sonorum litterarum vocalium a, e, i, o, u tam insigniter inter se diversorum.

2) Annon construi queant instrumenta ordini tuborum organicorum, sub termino vocis humanae noto, simila, quae litterarum vocalium a, e, i, o, u sonos exprimant." (zitiert nach Kratzenstein 1781)

"1) Wie ist die Natur und der Charakter der Vokal-Buchstaben a, e, i, o, u die sich so deutlich voneinander unterscheiden.

2) Ist es nicht möglich, Instrumente nach Art derjenigen Orgelpfeifen zu bauen, die als *Vox humana* bekannt sind und die den Klang der Vokal-Buchstaben a, e, i, o, u hervorbringen." (Übers. FB)

In seiner im folgenden Jahr erschienenen Schrift "Tentamen resolvendi problema..." gab Kratzenstein auf beide Frageteile ausführlich Antwort und stellte eine von ihm entwickelte Serie von fünf *Zungenpfeifen* vor, die jeweils einen der Vokale A, E, I, O, U hervorbringen konnten und bekam daraufhin den ersten Preis zuerkannt.² Kratzensteins Erkenntnisse über die menschliche Lautproduktion im allgemeinen und die Bildung von Vokalen im besonderen waren allerdings teilweise recht bizarr: Er erkannte zwar zutreffend, dass das Phänomen der Stimmhaftigkeit in der menschlichen Sprache durch eine periodische Unterbrechung und damit Anregung der aus der Lunge ausströmenden Luft hervorgerufen wird, jedoch machte er hierfür anstatt der Glottis den Kehldeckel verantwortlich, der gleich einem freischwingenden Metallblatt im Rachen vibriere (Müller 2008: S. 146).

Aus dieser Beobachtung heraus meinte Kratzenstein eine gewisse Analogie zu den seit jeher im Orgelbau verwendeten sog. *Zungenpfeifen* mit *aufschlagenden Zungenblättern* (in der Art eines Klarinettenmundstücks) zu erkennen. Anders als bei der menschlichen Stimme ist dem Klang dieser Pfeifen aber stets eine gewisse Sprödigkeit zu eigen, die Kratzenstein völlig korrekt auf die Tatsache zurückführte, dass bei diesen Pfeifen ein Metallblatt auf einen metallenen Rahmen aufschlägt. Daraus folgert Kratzenstein, dass die nach diesem System seit Jahrhunderten gebaute Orgelstimme *Vox humana* niemals überzeugend klingen könne (vgl. hierzu den unter 2.4.4 folgenden Exkurs zur *Vox humana*). Die scheinbare Lösung des Problems fand er nun darin, diese Zungenblätter bei seinen Vokalpfeifen nicht aufschlagend zu gestalten, sondern – nach dem vermeintlichen Vorbild der menschlichen Anatomie – durchschlagend (Müller 2008: 146 f., vgl. Abb. 4, vgl. hierzu auch den Exkurs zur Konstruktion von Lingualpfeifen im Anhang 7.4).

Die Tatsache, dass sich die Preisfrage der St. Petersburger Akademie mit der Formulierung "instrumenta ordini tuborum organicorum, sub termino vocis humanae noto" ganz offensichtlich *nicht* auf die menschliche Stimme bezieht, sondern auf ein Instrument aus Orgelpfeifen ("instrumentum ordini tuborum organicorum"), das unter dem Terminus *Vox humana* bekannt ist ("sub termino vocis humanae noto"), ist in der phonetischen Rezipientenliteratur bisweilen falsch interpretiert worden (vgl. z. B. von Kohler 1998: 1).

Kratzenstein baute nun für seine vier Vokalpfeifen zur Synthetisierung von /a/, /e/, /o/ und /u/ solche Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen und konstruierte für eine jede einen individuell gestalteten Resonator, der der Hervorbringung des jeweiligen spezifischen Vokals dienen sollte. Die fünfte Pfeife für /i/ baute er jedoch

² Offenbar wurde auch ein zweiter Preis vergeben, dessen Träger aber unbekannt ist (persönliche Mitteilung von Gordon Ramsay).

als Labialpfeife, ähnlich dem Funktionsprinzip einer Blockflöte (Ähnlich wie Kratzenstein geriet auch Kempelen (s.u.) bei der Synthese dieses Vokales mit seinem Modell an die Grenzen des Möglichen.). Die von Kratzenstein gewählten Resonatorformen sind recht komplex und muten teilweise geradezu bizarr an (vgl. Abb. 5). Als Begründung für die Formen seiner Pfeifenresonatoren gab Kratzenstein laut Willis (1832) freimütig zu, dass er nach vielen Versuchen schließlich die Becherformen genommen habe, mit denen sich die gewünschten Vokale am überzeugendsten synthetisieren ließen (Willis 1832: 398 f.). Eine wie auch immer geartete physiologische Grundlage hatten Kratzensteins Resonatorformen demnach nicht.

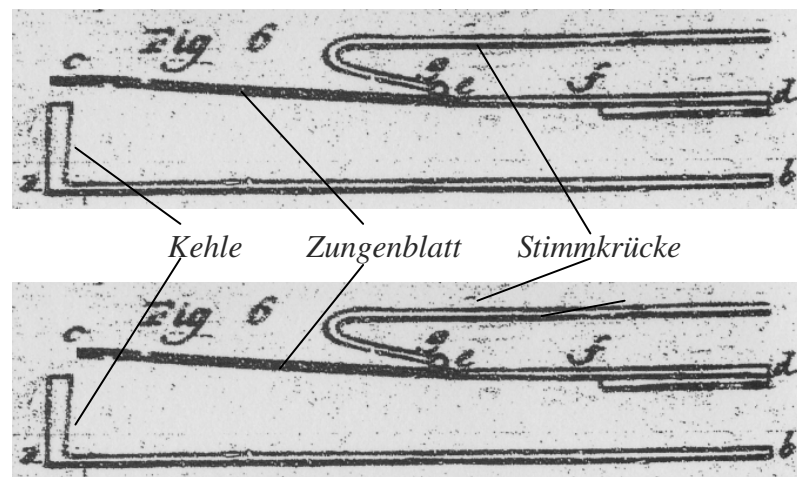


Abb. 4. Schematische Schnittzeichnungen einer aufschlagenden und einer durchschlagenden Zungenpfeife. Zu sehen sind lediglich Kehle, Zungenblatt und Stimmkrücke. (nach Kratzenstein 1781).

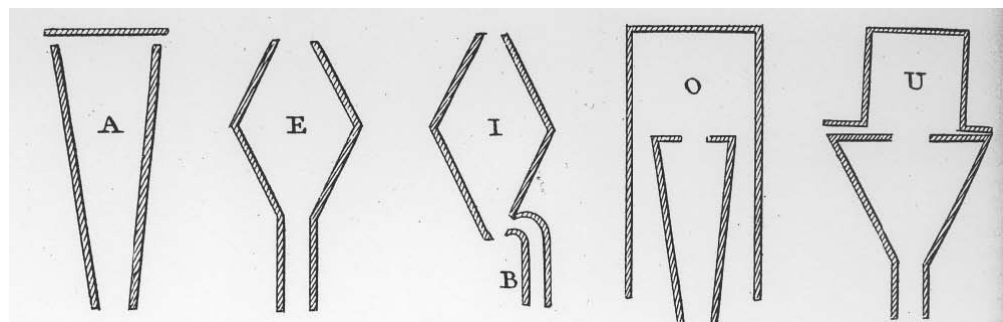


Abb. 5. Schnittzeichnung der Resonatoren der von Kratzenstein entwickelten Vokalpfeifen (Dudley & Tarnoczy 1950: 162).

Über das weitere Schicksal der Kratzensteinschen Apparatur ist nichts bekannt. Die umfangreiche Instrumenten- und Handschriftensammlung Kratzensteins ging beim

großen Stadtbrand von Kopenhagen 1795 zugrunde, so dass nicht auszuschließen ist, dass auch seine Vokalpfeifen diesem Feuer zum Opfer fielen (Müller 2008: 148).

2.4.2 Mical

Zur gleichen Zeit wie Kempelen und Kratzenstein arbeiteten weitere zwei Forscher an Lösungen zur artikulatorischen Sprachsynthese. Der erste hiervon war der Abbé Mical (1730-1789). Ihm gelang es, 1778 einen *sprechenden Kopf* zu präsentieren, der offenbar in der Lage war, einen langen Satz zu sprechen (Köster 1972: 81). Nachdem Mical diesen Apparat aus Enttäuschung über dessen Unvollkommenheit zerstört hatte, konstruierte er umgehend einen weiteren Prototypen, den er fünf Jahre darauf durch die Pariser Akademie der Wissenschaften begutachten ließ.

Mical selbst hinterließ keinerlei Zeugnisse zu seinen *Sprechmaschinen*. Einzig durch Berichte der Akademie und zeitgenössische Zeitungsartikel sind wir heute in groben Zügen über das Wesen dieser Synthesemaschinen informiert. Aus Anlass des Besuches von Wolfgang von Kempelen mit dessen *Sprechmaschine* im Jahre 1783 verfasste die Pariser Akademie ein Gutachten über die Konstruktion Micals, aus der einige vage Angaben hervorgehen:

"Der Apparat bestand aus zwei Köpfen, die unter Bewegung der Lippen und der Kiefer eine Reihe von Sätzen artikulieren konnten. Im Inneren der Maschine waren - neben einer Windkammer [...] - verschiedene als Resonatoren verwendete einfache und doppelte Hohlräume angebracht, die teilweise mit Klappen ausgerüstet waren. [...] Die Resonatoren waren auf der Unterseite durch ein straff gespanntes feines Leder abgeschlossen, das in der Mitte ein ovales Loch für die Zungenpfeife, die ihrerseits mit der Luftzufuhr verbunden war, freiließe. [...] Die aufschlagenden Zungen waren durch Metallhaken stimmbar, mit denen die schwingenden Anteile verlängert oder verkürzt wurden. Während der Vorführungen fortlaufender Rede blieb der Grundton jedoch unverändert. [...] Wie bei Kratzenstein, so ist auch bei Mical die Anzahl der verwendeten Resonatoren auf fünf (a, e, o, æ, u) begrenzt. Folglich weist der Apparat schon im Vergleich mit dem französischen Vokalinventar große Lücken auf. [...] Mit der Maschine konnten neben den

genannten Vokalen mit einiger Wahrscheinlichkeit auch die Konsonanten p, b, d, k, g, f, v, l, r und n erzeugt werden. [...] Ein komplizierter Mechanismus erlaubte die Steuerung koartikulatorischer Effekte. [...] An der Maschine wurde vor allem kritisiert, daß sie ganze Wörter verschlucke, ihre Stimme rau und die Artikulation zu langsam sei." (Köster 1972: 82 ff.)

Mical erwartete offenbar einen Ankauf der Maschine, der aber ebenso ausblieb wie der erhoffte Erfolg in der Öffentlichkeit. Frustriert zerstörte der Abbé daraufhin auch seine zweite Synthesemaschine (Köster 1972: 91).

2.4.3 *Darwin*

Der vierte und weithin unbekannte Schöpfer einer artikulatorischen Sprachsynthese (im weitesten Sinne) im achtzehnten Jahrhundert ist der britische Gelehrte Erasmus Darwin (1731-1802), Großvater des später so berühmten Charles Darwin. Er beschäftigte sich eingehend mit verschiedenen Aspekten der menschlichen Sprache, so auch mit der Entwicklung eines phonetischen Alphabets, den Artikulationsvorgängen und der Entwicklung einer Sprechmaschine (Jackson 2005: 230).

Über Darwins Sprechmaschine ist wiederum nur sehr wenig bekannt. Entstanden ist sie offenbar ab ca. 1766, nachdem Darwin auf einer Europareise möglicherweise Kunde von anderen Sprechmaschinen erhalten hatte. Erste private Vorführungen fanden 1770 statt, weitere im Jahr darauf in der Lunar Society. Eine ungefähre Vorstellung von der Synthesequalität der Maschine gibt das folgende Zitat aus einem Brief Richard Lovell Edgeworth' an Erasmus Darwin aus dem Jahre 1798:

"The speaking machine, which is just announced from France [FB: Kempelens?], does not say so many words as yours did many years ago. It prattles only papa and mama. Yours spoke those words, and could also say go. I placed one of your mouths in a room near some people in 1770, who actually thought I had a child with me, calling papa and mama." (zitiert nach Jackson 2005: 230)

2.4.4 Exkurs: Das Orgelregister *Vox humana*

Im Verlauf dieser Arbeit begegnete nun bereits mehrfach der Terminus der *Vox humana*. Da eine gewisse Kenntnis über dieses Phänomen für das Verständnis der Sprachsynthese-Ansätze im 18. Jahrhundert von nicht unerheblicher Bedeutung ist, soll an dieser Stelle ein kurzer Exkurs zu dieser Thematik folgen.

Als sich die Orgel im frühen Mittelalter als Musikinstrument in den Kirchen etablierte, bestand ihre Aufgabe zunächst explizit in der Alternation bzw. Vertretung der Sänger (i. d. R. eine Männerschola), denen in jener Zeit eine große Bedeutung bei der Ausgestaltung der Gottesdienste zukam. Gesang galt zunächst als die einzig zulässige Form von Musik in der Kirche. Infolge dessen versuchte man, den an sich starren und statischen Klang der Orgel als Vertretungsinstrument für die Männerschola besser an die Klangwirkung einer menschlichen Singstimme anzupassen. Hierzu wurden verschiedene Wege beschritten, von denen einer zur *Vox humana* führte.

Dieses Orgelregister besteht aus *Lingualpfeifen* in der sog. *Regalbauweise*. Dies bedeutet, dass die auf der Oberseite der *Zungenpfeife* befestigten *Resonatoren* in ihren Abmessungen in keiner unmittelbaren Beziehung zur Stimmtonhöhe der Pfeife stehen. Anders als bei den sog. *vollbecherigen Zungenpfeifen*, bei denen die Länge des *Resonators* jeweils in bestimmter Relation zur Stimmtonhöhe steht, sind die *Resonatoren* bei *Regalpfeifen* in aller Regel äußerst kurz. Dies bewirkt einen weniger modulierten und veredelten, sondern eher hellen und schnarrenden Klang. Früh entdeckte man, dass ein solches Register der Regalbauweise, kombiniert gespielt mit einem leisen *labialen Flötenregister* gleicher Tonhöhe und dem *Tremulanten* (ein sog. *nichtklingendes Hilfsregister*, das für eine kurzzeitige periodische Unterbrechung des Luftstromes zur Pfeife sorgt und dadurch einen leicht bebenden Klang erzeugt, der in gewisser Weise Ähnlichkeit mit dem Vibrato des Menschen hat.) für einen Klang sorgt, der insbesondere in tieferen Lagen an den chorischen Gesang von (männlichen) Menschen erinnert. Diese Kombination oder Registermischung aus *Regal*, leisem *Flötenregister* und *Tremulant* nannte man fortan *Vox humana* (vgl. Busch & Geuting 2007: 817 und Bosch & Döhring & Kalipp 2007:168).

In der Folgezeit ging diese Bezeichnung als "pars pro toto" auf das *Regalregister* allein über und das Wissen darum, dass der Terminus ursprünglich eine Kombination von Registern und deren "tremolierenden" Klangeindruck bezeichnet hatte, ging verloren. Spätestens seit dem Barockzeitalter versuchten die Orgelbauer dann in Unkenntnis der historischen Genese dieses Registernamens, dem Regalregister namens *Vox humana* mittels immer raffinierterer und komplizierterer Bauweisen und Resonatorformen einen Klang zu geben, der dem vermeintlichen Anspruch des

Namens "Menschenstimme" auch tatsächlich entsprach (vgl. Busch & Geuting 2007: 817). Dies führte zu einer regelrechten Mystifizierung dieses Orgelregisters und damit in Einzelfällen zu geradezu absurden Anstrengungen und Legenden. So versuchte beispielsweise der schwäbische Orgelbauer Joseph Gabler (1700-1771), einen besonders "menschlichen" Klang zu erzeugen, indem er die Resonatoren grob nach dem Vorbild des menschlichen Larynx gestaltete und – der Sage nach – schlussendlich sogar aus lauter Verzweiflung einen Teufelspakt schloss, um endlich zum ersehnten Ergebnis zu kommen (Mayr 2000: 86, vgl. auch Abb. 6).

Auch im 19. Jahrhundert dauerte die "Vox humana-Forschung" weiter an, nun unter Einbeziehung der neu entwickelten *durchschlagenden Zungen*, von denen man sich eine bessere Klangwirkung erhoffte. Offenbar hat kein Orgelbauer dieser Zeit sich jemals eingehender mit der menschlichen Anatomie und den Mechanismen der Spracherzeugung beschäftigt, da anders die zahllosen ebenso erfolglosen wie anatomiefern Ansätze zur Erzeugung einer echten "Vox humana" nicht zu erklären sind.

Letztendlich sind auch die Preisfrage der St. Petersburger Akademie und in gewisser Weise auch Wolfgang von Kempelens Arbeiten zum Teil durch dieses "Mysterium" der *Vox humana* geprägt.



Abb. 6. Pfeifen des Vox humana-Registers von Joseph Gabler (1733) in der Orgel der ehem. Abteikirche Ochsenhausen.

3. Die *Sprechmaschine* Wolfgang von Kempelens

Im Gegensatz zu zahlreichen anderen mehr oder minder seriösen Versuchen zur Sprachsynthese seiner Zeit entstand Wolfgang von Kempelens Sprechmaschine nicht aus einer Laune heraus oder gar als Attraktion. Vgl. beispielsweise die "Sprechenden Köpfe" des Abbé Mical, die nach einem offenbar dem Kratzensteinschen vergleichbaren System funktionierten. Die Apparaturen selbst sind nicht erhalten geblieben, ebenso wenig sind verlässliche Beschreibungen überliefert (Köster 1972: 81 ff.). Die aus jahrzehntelanger grundlegender Forschungsarbeit resultierenden Ergebnisse und ihre Umsetzung in eine grundsätzlich funktionierende Sprachsynthesemaschine" hatten ihren Ursprung in einem tiefen und ernsthaften Interesse Kempelens an dem bis dato noch nicht überzeugend beantworteten Fragenkomplex, was die menschliche Sprache ausmacht, sie ermöglicht und wie man sie Menschen, die – warum auch immer – bislang ohne Sprache hatten auskommen müsse, beibringen könne.

Wolfgang von Kempelens Beschäftigung mit der synthetischen Erzeugung von menschlicher Sprache wurzelte also in einem tiefen, vorurteilslosen Interesse an naturwissenschaftlichen Fragestellungen, die er als fundamental empfand. Die Zeit für eine derartige Arbeit war nunmehr reif, hatte die sog. Aufklärung doch die Gefahren erheblich gemildert,³ die in den Jahrhunderten zuvor für kritisch-empirisch arbeitende Forscher bestanden. Die Bedeutung der Forschungsarbeit Kempelens wurde schon zu seinen Lebzeiten erkannt.

3.1 *Vorarbeiten*

Als Kratzenstein im Jahre 1781 seine Ergebnisse zur Vokalforschung und -synthese vorlegte, befasste sich Wolfgang von Kempelen bereits seit etwa zehn Jahren mit den Themen Sprache und Sprachsynthese (Kempelen 1791a: 389 f.). Bis zur Entwicklung seiner endgültigen Sprechmaschine waren dabei einige Umwege vonnöten, die Kempelen im *Mechanismus* freimütig und ausführlich schildert.

Dem endgültigen Konzept der Sprechmaschine gingen zwei andere Entwürfe voraus. Frühzeitig beantwortet war die Frage nach dem zur Simulation der Glottis zweckdienlichen Mittel:

³ So mutmaßt der anonyme Autor des Artikels im „Teutschen Merkur“, Kempelen sei einhundert Jahre zuvor für eine derartige Erfindung wie seine *Sprechmaschine* noch auf dem Scheiterhaufen verbrannt worden (Anonymus 1784a: 182)

"Es war mir wie jedermann bekannt, daß die Mundstücke an der Hautbois [FB: Oboe], dem Clarinette, dem Fagote u. d. gl. der Menschenstimme am nächsten kommen, weil sie der menschlichen Stimmritze in ihrer Verrichtung etwas ähnlich sind. Ebenso wußt' ich auch, daß man schon seit langer Zeit, besonders in Frankreich, die sogenannte Menschenstimme die eben aus solch größeren und kleineren Clarinetmundstücken besteht, in Orgeln angebracht hat;⁴ allein da diese die Menschenstimme nur sehr unvollkommen nachahmen, und dabey ein betäubendes Geton [FB: Getöse, Lärm] verursachen, so fand ich sie zu meinem Vorhaben nicht tauglich. [...] Ein ländlicher Spaziergang führte mich [...] gegen eine Dorfschenke, vor welcher sich einige Bauern mit Tanzen belustigten. [...] Noch in einiger Entfernung hörte ich etwas, das ich nicht recht unterscheiden konnte. Es war mir, als hörte ich ein Kind singen [...]. Als wir endlich anlangten, was war es? – [...] ein Tudelsack." (Kempelen 1791a: 390 ff.)

Aus dieser Entdeckung heraus entwickelte Kempelen sein erstes Modell, das im Endeffekt aus nichts anderem bestand als aus einem Oboenmundstück mit einem trichterförmigen Aufsatz, das an einen Blasebalg angeschlossen wurde. Hiermit gelang es ihm, die ersten Vokale zu synthetisieren (Kempelen 1791a: 394 ff.).

Doch gab er sich damit nicht zufrieden und entwickelte nach einem neuerlichen Zufall (Kempelen 1791a: 399) eine zweite Konstruktion, die derjenigen Kratzensteins recht ähnlich war: Kempelen nutzte eine unfertige kleine Orgel⁵ mit dreizehn Pfeifen nach Art der *Vox humana*, von denen eine jede einen anderen Laut synthetisieren sollte.

Allerdings gelang es Kempelen zunächst nur, verschiedene /a/-Qualitäten zu synthetisieren. Schließlich gelangte er jedoch zu der Erkenntnis, dass seine Grundannahme zur Vokalqualität falsch war:

⁴ Gemeint ist das aus *Lingualpfeifen* bestehende Orgelregister *Vox humana* (vgl. auch 2.4.4).

⁵ Es dürfte sich hierbei um ein sog. *Tischregal* gehandelt haben (vgl. Menger (1973) S. 122 ff. und Dom Bedos de Celles (1766), Tab. 86). Kempelen selbst bezeichnet das Ausgangsinstrument als "Menschenstimme" (Kempelen 1791a: S. 399)

"[...] denn ich war noch in dem Wahn, daß die Tiefe oder Höhe zu dem Selbstlauter beyträgt, ja vielleicht ein Hauptunterscheidungszeichen zwischen mehreren ausmacht." (Kempelen 1791a: 400 f.)

Nachdem er diesen Irrtum erkannt hatte, versuchte er, durch Resonatoren, die mit Brettchen teilweise verschließbare waren (vgl. Abb. 7 bzw. Tab. XVII, Fig. 2), andere Vokale als das offene /a/ zu synthetisieren. Erst jedoch, als er statt diesen ovale, in der Mitte geteilte und durch Schnüre im Öffnungsgrad variierende Hohlkörper verwendete (vgl. Abb. 7 bzw. ab. XVII, Fig. 3), gelangte er neben /a/ auch zu den Vokalqualitäten /o/, /u/ und einem undeutlichen /e/, die jedoch sämtlich nur kontrastiv perzipierbar waren. Im Verlaufe einer längeren Zeit gelang Kempelen dann mit dieser Konstruktion auch die Synthese der Konsonanten /p/, /m/ und /l/ (Kempelen 1791a: 404 f.)

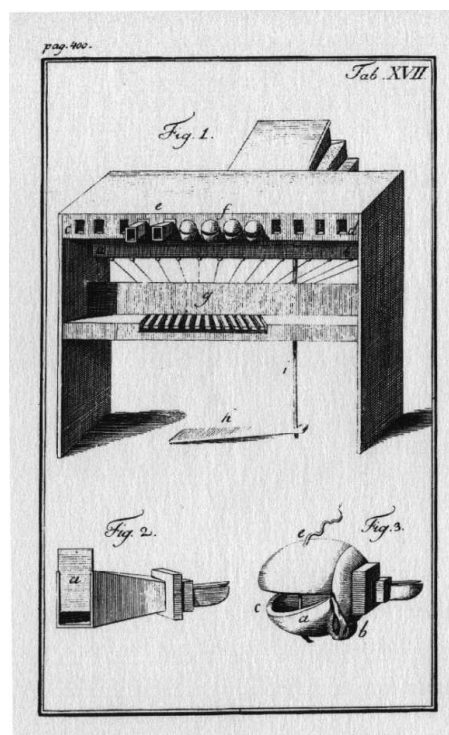


Abb. 7. Das zweite *Sprechmaschinen*-Modell Kempelens (Kempelen 1791a).

Es ist hierbei bemerkenswert, dass sich Kempelen bei der Konstruktion der zweiten Synthesemaschine wieder ein Stück vom Naturvorbild entfernte: Anstatt wie bei seinem ersten Entwurf ein Oboenmundstück zu verwenden, das mit seinem schwingenden Doppelrohrblatt tatsächlich eine recht schlüssige, wenn auch nicht vollends stimmige Analogie zur menschlichen Glottis darstellt, benutzte er fortan für sein zweites und drittes Modell quasi das Analogon einer halbseitig gelähmten Glottis, da bei *aufschlagenden Lingualpfleigen* nur ein Element – das *Zungenblatt* – schwingt,

während das andere – die *Kehle* – starr ist (gleiches gilt für das von Kempelen erwähnte Mundstück von Klarinetten, vgl. Abb. 8). Einen Grund für diesen "Rückschritt" gibt Kempelen nicht an. Es wird jedoch deutlich, dass Kempelen – entgegen seinem eigenen Befund (vgl. das entsprechende Zitat auf S. 25) bereits mit seinem zweiten Sprechmaschinen-Modell sich wieder des zuvor geschmähten *Vox humana*-Modells bediente und somit offenbar doch noch dem "Mythos" der *Vox humana* erlag.⁶

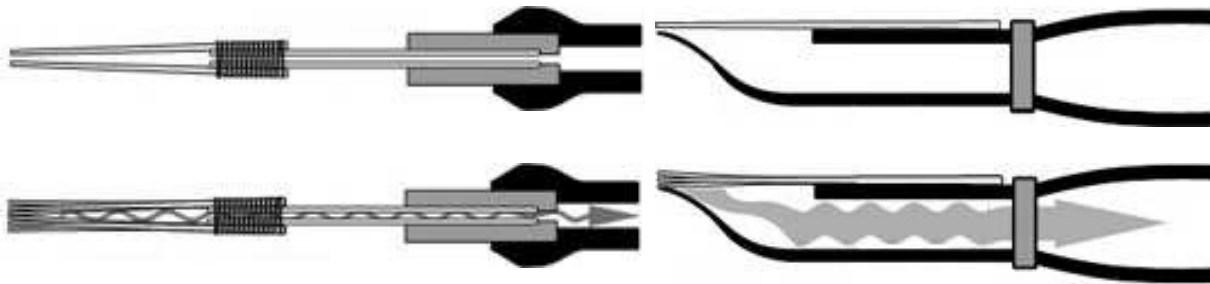


Abb. 8. Schematische Darstellungen eines Doppelrohrblattes (links) und eines Einzelrohrblattes (rechts). Die oberen Zeichnungen zeigen das Rohrblatt jeweils in der "adduzierten" Ruhestellung, die unteren während des Schwingungsvorganges. (<http://www.lehrklaenge.de/html/rohrblattinstrumente.html>).

3.2 Die endgültige Sprechmaschine

3.2.1 Die Konstruktion

Im Jahre 1783 – also acht Jahre vor Veröffentlichung des *Mechanismus* (!) – verfügte Kempelen bereits über das dritte (und endgültige) Konzept einer grundsätzlich funktionierenden *Sprechmaschine*. Diese war bereits so weit entwickelt, dass Kempelen mit ihr eine Art "Tournée" durch ganz Europa machen konnte (Pompino-Marschall 1991: 196). Insgesamt sollte sich Kempelen reichlich 20 Jahre seines Lebens der Entwicklung der Sprechmaschine widmen (ca. 1769-1791). Angesichts des überraschend kurzen Zeitraumes von einem halben Jahr, das Kempelen seinerzeit für die Konzeption und Konstruktion des technisch hochkomplexen Schachtürken aufwendete (bzw. aufgewendet zu haben behauptete), wird deutlich, wie intensiv und zutiefst ernsthaft er nach einer soliden und gebrauchsfähigen Sprachsynthese forschte.

Bei der endgültigen Konzeption seiner *Sprechmaschine* wählte Kempelen einen vollkommen anderen Ansatz als beispielsweise Kratzenstein oder Mical. Dies ergab

⁶ Vgl. den Exkurs in Kapitel 2.4.4

sich geradezu zwangsläufig aus der Tatsache, dass er nicht mehr nur einige wenige einzelne Vokale synthetisieren wollte, sondern mit dem Anspruch auftrat, eine Maschine bauen zu wollen, die alle Laute der Welt (vgl. Kempelen 1791a: 389) – und damit sämtliche Sprachen, so Kempelens Annahme – beherrschen sollte.

3.2.1.1 Subglottal: Blasebalg und Windlade

Als Simulation der menschlichen Lunge wählte Kempelen einen Blasebalg in Form eines mehrfaltigen Keil- oder Spanbalgs. Diesen schloss er an die der Zungenpfeife gegenüberliegende Schmalseite der Windlade an und befestigte am hinteren Ende seiner Oberplatte ein an einer Schnur hängendes Gewicht, das – quasi als Repräsentation des menschlichen Zwerchfells und der Rippenmuskulatur – dafür Sorge tragen sollte, den Balg stets wieder aufzuziehen und ihn somit mit neuer Luft zu füllen.

3.2.1.2 Glottal: Zungenpfeife

Während Kratzenstein für jeden Vokal jeweils eine eigene Pfeife verwendet hatte und die Vokale dadurch auch nur isoliert produzieren konnte, erkannte Kempelen, dass es für eine effektive und überzeugende Sprachsynthese grundlegend wichtig ist, die natürlichen Gegebenheiten, wie sie beim Menschen herrschen, nachzubilden, also möglichst alle Sprachlaute mit ein und derselben Vorrichtung zu produzieren. Mit dieser Feststellung entdeckte Kempelen das Phänomen der *Koartikulation*. Er erkannte, dass diese Beeinflussung eines artikulierten Lautes durch seinen lautlichen Kontext eines der ganz zentralen Merkmale der menschlichen Sprache darstellt, das es bei der Konstruktion eines artikulatorischen Syntheseapparates unbedingt nachzuahmen gilt:

"Itzt fieng ich an einzusehen, daß sich die einzelnen Buchstaben zwar erfinden, aber auf die Art, wie ich es angriff [FB: im zweiten Modell], nimmermehr in Sylben zusammenbinden ließen, und daß ich schlechterdings der Natur folgen müßte, die nur eine Stimmritze, und nur einen Mund hat, zu dem alle Laute herausgehen, und eben nur darum sich miteinander verbinden." (Kempelen 1791a: 407, vgl. auch das folgende Zitat Kempelens)

Wie im zweiten Modell verwendete Kempelen auch jetzt eine *Zungenpfeife* als Simulation der Stimmlippen. Doch anders als Kratzenstein verwendete Kempelen eine herkömmliche *aufschlagende Zungenpfeife* (vgl. Tab. XVIII). Aus heutiger Sicht erscheint diese Entscheidung wenig verständlich, kannte Kempelen doch nachweislich Kratzensteins Traktat (siehe folgendes Zitat). Es ist zudem zweifelsfrei sicher, dass eine durchschlagende Zungenpfeife aufgrund ihrer aerodynamischen und akustischen Eigenschaften für Kempelens Vorhaben weitaus geeigneter gewesen wäre (Brekle & Wildgen 1970: XVII). Kempelens Entscheidung wird jedoch nachvollziehbar, wenn man die entsprechende Passage im *Mechanismus* liest. Hier schreibt Kempelen:

"Im Jahre 1780 [FB: sic!], als diese Schrift [FB: Kratzensteins *Tentamen*] erschien, konnte ich auf meiner sprechenden Maschine schon alle Selbstlauter bis auf das i angeben, und ich hatte anfangs Lust mir eine Nachahmung dieser Orgel [FB: Kratzensteins Vokalpfeifen] aus Petersburg zu verschaffen, bloß in dieser Absicht dadurch auf den Selbstlauter i geführt zu werden. Allein als ich bedachte, daß der Beschreibung nach in dieser Maschine jeder Vokal eine besondere kegelförmige Röhre [FB: Resonator] haben müsste, und ich schon durch die Erfahrung belehrt war, daß um ganze zusammengesetzte Wörter heraus zu bringen, die Stimme nicht aus mehreren, sondern immer aus einer und derselben Röhre herausgehen müsse, so besorgte ich [FB: hatte ich Sorge], daß ein solches aus einer besonderen Röhre bestehendes i nicht viel zu meiner Absicht taugen könne, und daß ich mir unnöthige Kosten machen würde; zu dem kam im folgenden Jahre eben ein Gelehrter aus Petersburg hierher, der die Kratzensteinische Orgel gehört hatte, und den ich auch meine Sprachmaschine hören ließ: dieser versicherte mich [FB: sic!], daß die Kratzensteinischen Vokale eben nicht besser und vernehmlicher als die meinen wären, und so stand ich von meinem Vorhaben ab." (Kempelen 1791a: 197 ff.)

Kempelen scheint also nach den ihm verfügbaren Informationen von einer grundsätzlich ungünstigeren Konzeption der Kratzensteinischen "Vokalorgel" im Vergleich mit seinen eigenen Experimenten überzeugt gewesen zu sein. Von den grundsätzlichen akustischen Vorteilen der durchschlagenden Zungenpfeifen –

unabhängig von der Qualität der Kratzensteinschen Resonatoren – scheint der reisende Gelehrte Kempelen nichts berichtet zu haben, der ganz offenbar auch nichts dergleichen erwartete.

Die Konstruktion seiner Apparatur verfeinerte Kempelen im Folgenden dergestalt, dass sich eine kleine Maschine daraus ergab (vgl. hierzu Abb. 9a+b sowie Tab. XXIV und XXV), die die menschliche Anatomie in groben Zügen modelliert. Die *Zungenpfeife*, bestehend aus *Nuss*, *Kehle* und *Zungenblatt*, als Repräsentation des Larynx behielt er bei, doch verwendete er – wie auch bereits im zweiten Modell – anstatt eines üblichen Zungenblatts aus Messing ein solches aus Elfenbein, dessen (ebenfalls) rauhen Ton er dadurch zu mildern versuchte, dass er die dem *Zungenblatt* zugewandte *Oberseite* der Kehle und die *Zungenunterseite* mit dünnem Handschuhleder⁷ überzog. Hier war Kratzenstein innovativer: Eine durchschlagende Zungenpfeife hätte den Effekt, den Kempelen durch das Beledern zu erreichen suchte, ungleich besser erzeugt. Was Kempelen dazu veranlasste, als Material für das Zungenblatt Elfenbein zu verwenden, ist vollkommen unklar. Liénard (1968) fand heraus, dass die durch die Beledung hervorgerufene starke Dämpfung der hohen Harmonischen einen verhältnismäßig natürlichen "menschlichen" Klang hervorruft (Liénard 1968).

Den sonst bei Zungenpfeifen üblichen *Stiefel* ersetzte er durch ein erheblich größeres hölzernes Kistchen von 1 1/2 x 3 1/2 x 2 1/2 Zoll (HxBxT)⁸ (Kempelen 1791a: 415) als Modell der Trachea, in dessen eine Schmalseite er die Nuss steckte. An die Stelle des *Resonators* setzte Kempelen eine recht komplizierte Konstruktion aus einem Gummitrichter und einer mehrfach durchbohrten Holzscheibe, welche die Funktionen von Mund und Nase übernehmen sollte.

Mit dieser Konstruktion erzielte Kempelen bereits einige Erfolge und wähnte sich auf dem richtigen Weg: Eine Reihe von Vokalen ließ sich recht deutlich produzieren, ebenso einige Nasalkonsonanten und bilabiale Plosive.

⁷ In der frz. Parallelausgabe von 1791 lautet die Materialbezeichnung "peau de chien" (Kempelen 1791b: 418). Die Haut eines Hundes ist aufgrund der fehlenden Schweißdrüsen sehr dicht, fein und wasserabweisend und eignete sich daher besonders zur Herstellung von Handschuhen. Im Orgelbau wurde und wird für die Beledung der Kehlen von Zungenpfeifen bevorzugt Rinds-Spaltleder verwendet. (persönliche Mitteilung von Herrn OBM Stephan Mayer)

⁸ Das entspricht in etwa 40x92x66 mm

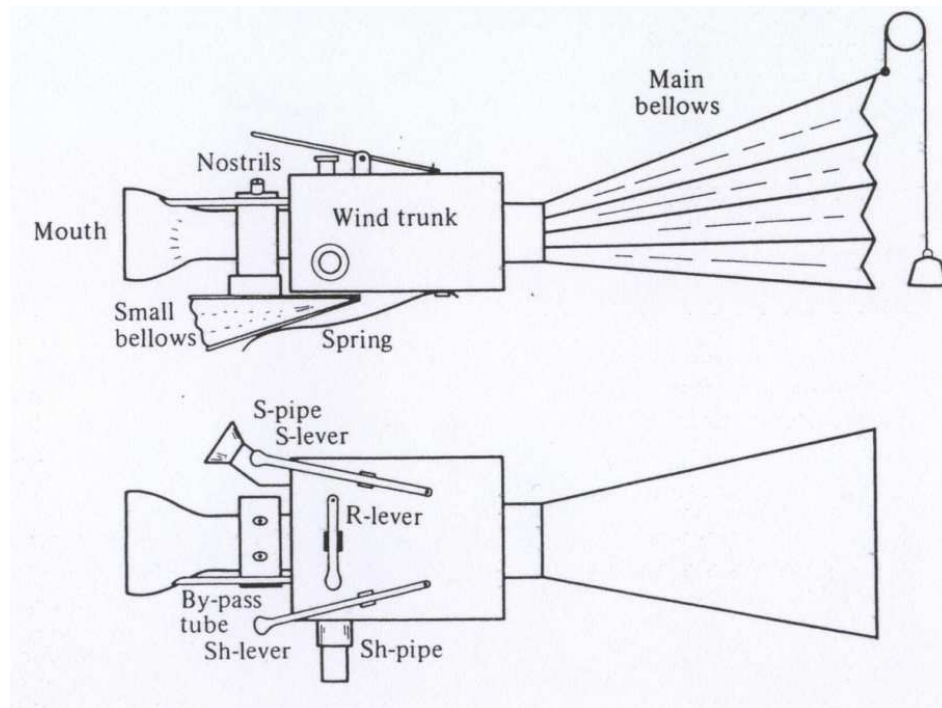


Abb. 9a. Schematische Seitenansicht und Draufsicht der dritten Kempelenschen Sprechmaschine (Linggard 1985).

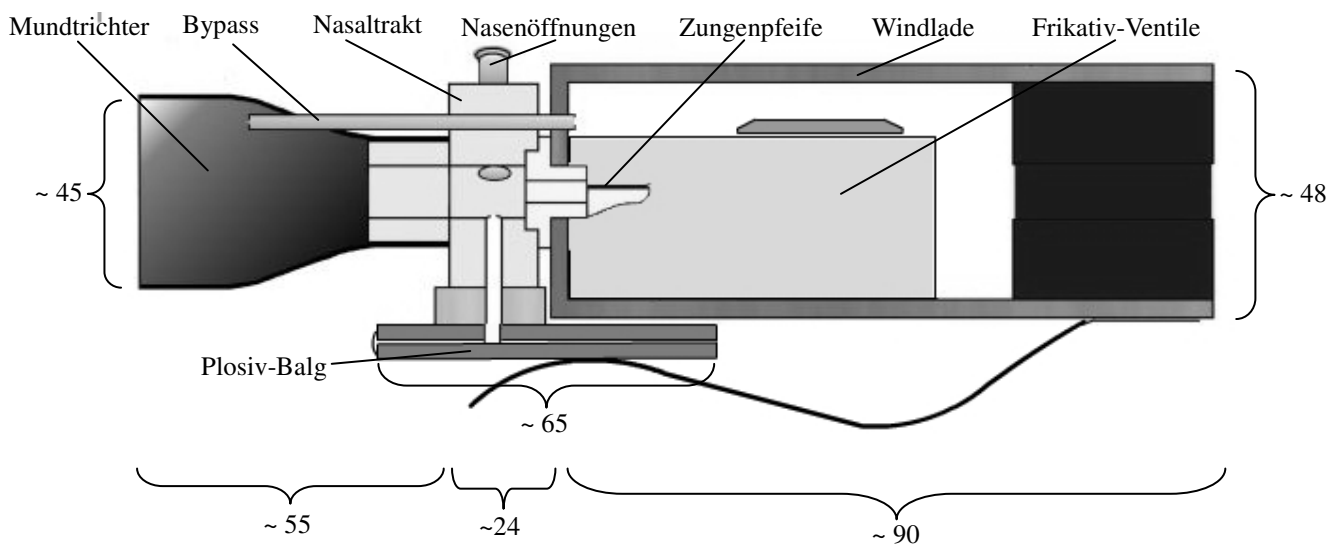


Abb. 9b. Schematische Schnittzeichnung der dritten Kempelenschen Sprechmaschine (Maßangaben in mm).

3.2.1.3 Supraglottal: Vokaltrakt

Kempelen hatte den "Mund" als weitgehend starren, leicht trichterförmigen Raum konzipiert, der also das Äquivalent zu einem permanent weit geöffneten Mund darstellt, was die Auswahl an synthetisierbaren Lauten sehr stark einschränkt. Zudem

fehlt es in Kempelens Syntheseapparat an Repräsentationen von nahezu allen Artikulationsorganen und -stellen wie beispielsweise von Zunge und Zähnen. Hierdurch ist der größte Teil des menschlichen Lautinventars von vornherein nicht authentisch darstellbar. Kempelen erkannte diesen Mangel recht klar:

"Derjenige Theil meiner Maschine, der den Mund vorstellt, folglich eben der wichtigste, ist gerade auch der unvollkommenste, und erfordert noch manche Verbesserung. Er hat keine Zähne, keine Zunge, und keinen weichen Gaumen. Wir haben oben bey der Theorie der Sprache gesehen, wie nothwendig besonders die zwey letzten Stücke sind. Da diese aber hier mangeln [FB: fehlen], so muß natürlich folgen, daß die Maschine manche Buchstaben unbestimmt, und undeutlich ausspricht. Aber diese Unvollkommenheit beschränkt sich nur auf vier [FB: sic!], die übrigen spricht sie gut." (Kempelen 1791a: 432)

In dem Bemühen, diesem "Defekt" abzuhelfen, unternahm er Versuche, ein Zungenäquivalent aus Holz herzustellen, musste hiermit jedoch zwangsläufig scheitern (Kempelen 1791a: 443 ff., vgl. Tab. XXVI).

Die von Kempelen letztlich gewählte Form der Sprechmaschine birgt ein grundsätzliches Problem: Die "Stimmlippe", also das Zungenblatt, befindet sich grundsätzlich in beinahe völlig adduzierter Stellung. Es ist nicht möglich, dieses aktiv zu abduzieren. Einzig durch einen im Balg erzeugten zu niedrigen oder zu hohen Luftdruck ist es möglich, Luft durch die Zungenpfeife zu leiten, ohne das Zungenblatt in Schwingung zu versetzen. Hieraus folgt, dass die Produktion von stimmlosen Lauten nur in sehr eingeschränktem Maße möglich ist.

Genau genommen ist diese von Kempelen erdachte Konstruktion eigentlich keine "sprechende Maschine", sondern eine Apparatur, die es erlaubt, manuell Sprachlaute und Silbenfolgen zu synthetisieren. Damit wäre es prinzipiell möglich, mit dieser Maschine einem Gehörlosen ein Werkzeug zur Spracherzeugung an die Hand zu geben. Da die Bedienung der Maschine jedoch eine sehr differenzierte manuelle wie auditive Kontrolle erfordert, bleibt diese, auch von Kempelen intendierte Nutzung bloße Theorie.

Frikativische Laute fehlten der Kempelenschen Sprechmaschine in Ermangelung von Repräsentationen von Zähnen, Zunge und Pharynx völlig. Hier erkannte Kempelen, dass es unter Beibehaltung des starren, "leeren" Mundtrichters in seinem

Konzept keine anatomisch halbwegs korrekte Lösung geben konnte. Um trotzdem nicht gänzlich auf solche Laute verzichten zu müssen, beschloss er, diese außerhalb des Komplexes aus Zungenpfeife, Nasalraum und Mundtrichter zu produzieren (Kempelen 1791a: 422 ff.). Besonders dringlich erschienen Kempelen hierbei die alveolaren und postalveolaren Zischlaute.

Um letztere zu produzieren, bediente Kempelen sich einer Blockflöte. Von dieser trennte er das Mundstück ab und kürzte den darin befindlichen Block derart, dass bei einströmender Luft kein Ton mehr entstand, sondern lediglich ein stark frikatives Geräusch. Den somit gewonnenen /ʃ/-Generator befestigte Kempelen an der linken Seitenwand der Windlade, mit deren Innenraum er durch eine Bohrung in der Wand und ein zwischengeschaltetes Ventil verbunden war (vgl. Abb. 9 sowie Tab. XIX-XXI und XXV).

Für die alveolaren Frikative konzipierte Kempelen eine ähnliche Konstruktion: Sie besteht aus einer kleinen "Büchse" (Kempelen 1791a: 422), an deren einer Seite eine rechteckige Öffnung die Luft passieren lässt, wenn sie durch die entgegengesetzte Seite aus der Windlade kommend einströmt. Diese Öffnung ist bis auf einen sehr schmalen Spalt mit einem Stück Kartonpapier verschlossen, so dass sich beim Austritt der Luft Verwirbelungen bilden, die ein frikatives Geräusch erzeugen, das bei etwas gutem Willen durchaus an einen alveolaren Frikativ zu erinnern vermag.

Um diese beiden "Frikativ-Generatoren" steuern zu können, installierte Kempelen im Inneren der Windlade zwei kleine Ventile, durch die Luft aus der Windlade durch Bohrungen in den Seitenwänden nach außen in die Generatoren gelangen konnte. Bedient werden diese Ventile durch kleine Hebel auf der Oberseite der Windlade (vgl. Abb. 9 sowie Tab. XIX und XX). Bei weiteren Frikativen behalf sich Kempelen mit gegebenen Schwächen seiner Maschine, die er kurzerhand zu Nützlichkeiten umdeutete: Die Erzeugung glottaler Frikative geschieht in der Sprechmaschine Kempelens dadurch, dass die Luft mit so wenig Druck in die Zungenpfeife geleitet wird, dass diese nicht ansprechen⁹ kann, sich aber ein frikatives Geräusch bemerkbar macht. Insofern liegt hier eine zwar nicht vollends korrekte, aber dennoch schlüssige Analogie zur menschlichen Physiologie vor. Dass Kempelens Bemühungen hier zu keinem letztlich befriedigenden Ergebnis gelangten, wird umso verständlicher, wenn man neuere Arbeiten zur artikulatorischen Frikativsynthese bspw. von Shadle et al. (2008) heranzieht. Hier wird deutlich, wie komplex die Bildung bspw. von alveolaren Frikativen tatsächlich ist.

Auch für die Produktion von labiodentalen Frikativen nutzte Kempelen eine

⁹ „Ansprechen“ meint im Instrumentenbau das in Schwingung Versetzen eines Zungenblattes.

regelrechte Schwäche seiner Konstruktion. Ursprünglich hatte er vorgesehen, auch für diese Frikative ein Ventil samt Taste zu installieren, das ein Loch in einer der Windladenwände bedeckte.¹⁰ Dieses rechteckige Loch sollte an seiner Unterseite eine geschärfte Kante aufweisen, die zu [f]-artigen Friktionen führen sollte (Kempelen 1791a: 446 f., vgl. Tab. XVI, Fig. 3). Kempelen verwarf diese Konstruktion jedoch wieder, wohl auch, um die Maschine nicht mit noch mehr Bedienelementen zu überfrachten. Stattdessen rettete er sich in den Pragmatismus:

"Allein, da ich in der Folge fand, daß durch die kleinen Löcher der Saiten [FB: sic!] der inneren Klappen, und des zu dem r bestimmten Drahts ohnedies viel Luft, und, wenn ich den Blasebalg etwas stärker drückte, mit dem Geräusche herausgieng, so hielt ich meine erstbeschriebene Vorrichtung [FB: für [f]] für ganz entbehrlich [...]" (Kempelen 1791a: 447)

In Ermangelung eines Äquivalents für die Zunge oder gar eines für die Uvula wurde es für Kempelen auch entsprechend schwer, eine Lösung für ein alveolares oder uvulares "r" zu finden. Hier gelangte er zu einer zunächst vielleicht skurril erscheinenden Lösung, die ihren Zweck im Rahmen des Gegebenen allerdings durchaus erfüllt: Kempelen durchbohrte den Deckel der Windlade exakt oberhalb der Zungenpfeife und führte durch dieses kleine Loch einen dünnen Metalldraht ein, der auf dem Windladendeckel so an einem Hebel befestigt ist, dass er in der Ruhestellung dicht über dem Zungenblatt schwebt, dieses aber nicht berührt (Kempelen 1791a: 418 ff., vgl. Tab. XX). Wird nun der Hebel niedergedrückt, senkt sich der Draht auf das Zungenblatt ab, behält aber nach oben hin wenige Millimeter Bewegungsfreiheit. Ist der Draht auf diese Art abgesenkt und das Zungenblatt beginnt zu schwingen, so entsteht ein stimmhafter rasselndes Geräusch, das – zumal kontextuell – als Vibrant wahrnehmbar ist.

Gleichfalls problembehaftet ist bei Kempelens endgültiger Konstruktion die Synthese von Plosiven. Aufgrund des bereits angeführten Fehlens jeglicher Artikulatoren und nahezu aller Artikulationsstellen sind einzig bilabiale Plosive simulierbar, dies allerdings recht überzeugend. Kempelen erkannte jedoch, dass diese von ihm synthetisierten bilabialen Plosive kontextuell auch als alveolar oder velar wahrnehmbar sind, da beim Zuhörer eine Art automatische Korrektur stattfindet:

"Vor allem muß ich gestehn, dass ich viel davon [FB: der von Kempelen sog. "Mitlauter"], nämlich D G K T

¹⁰ Vgl. Tab. XXVI, Fig. 3.

noch nicht bestimmt in meiner Maschine habe, sondern daß ich hierzu immer das P brauche, und bei langer Übung gelernt habe, durch geschwinderes oder langsames Abziehen der Hand [FB: vom Mundtrichter] einen kleinen Unterschied darein zu bringen, der das Ohr täuscht, und glauben läßt, daß man zum Beyspiel ein K oder T hört, wo es im Grunde doch nur P ist." (Kempelen 1791a: 442)¹¹

Um aber die Synthese dieses "Universalplosivs" überzeugender zu gestalten, griff Kempelen auf eine nicht von der menschlichen Anatomie vorgegebene Konstruktion zurück: Er brachte auf der Unterseite des "Nasenraums", einen kleinen Balg an, der durch ein Röhrchen mit diesem verbunden ist und in der Ruhestellung durch eine Feder zuge drückt wird. Verschließt man nun den Mund mit der Hand, wie es zur Synthese eines /p/ bzw. /b/ notwendig ist, strömt durch den im Mund ansteigenden Druck Luft in den kleinen Balg und füllt ihn. Wird die Hand vom Mund weggezogen, strömt diese Luft zusammen mit der im Mundraum befindlichen aus. Dies sollte nach Kempelens Absicht den Eindruck einer Plosion verstärken (Kempelen 1791a: 437 f., vgl. auch Abb. 9 und Tab. XXIV).

Für die Funktionsfähigkeit dieser Plosivunterstützung war allerdings eine weitere anatomiefremde Modifikation der Maschine notwendig. Da sich – wie bereits erwähnt – das Zungenblatt nicht abduzieren lässt, ist ein rascher Luftdurchfluss mit Druckaufbau im Mundraum nicht möglich. Um dies zu ermöglichen, legte Kempelen einen "Bypass" in Form eines dünnen Röhrchens aus der Windlade direkt in den Mundraum, um so die Verbindung "kurzzuschließen" (Kempelen 1791a: 434, vgl. ebenfalls Abb. 9 und Tab. XXIV).

Ein weiteres zentrales Problem der Sprechmaschine war und ist die Intonation. Die oben erläuterte Konstruktion erlaubt keine Veränderung der schwingenden Länge des Zungenblattes während des Spiels auf der Sprechmaschine. Das führt dazu, dass die synthetisierte Sprache stets recht monoton bleibt, was auch Kempelen selbst beschreibt:

"Ich habe oft nachgedacht, ob man nicht durch ein sehr genau gemachtes Instrument dahin kommen könnte, dieses Verlängern und Verkürzen [FB: des schwingenden Teils

¹¹ Die Beobachtung dieses als *Perzeptorische Kompensation* bekannten Phänomens konnte vom Autor und Prof. Dr. William J. Barry anhand von Aufnahmen der Budapester Replik nachvollzogen werden: Weiß man, welches Wort bzw. Phrase synthetisiert werden sollte, wird der Plosiv kontextuell richtig perzipiert und als überzeugend empfunden (bspw. bei „I go“ oder „Je t'aime“).

des Zungenblatts], folglich Fallen und Steigen des Tones nach Willkür zu bewirken, und dadurch, wo nicht [FB: wenn auch nicht] zu einer Art Gesang zu gelangen, doch wenigstens eine Abwechslung der Stimme bey dem Sprechen zu erhalten, welches meiner Maschine, die dermalen alles in einem Tone fortspricht, erst die rechte Annehmlichkeit geben würde." (Kempelen 1791a: 413)

Kempelens Versuche, eine passende Apparatur zu konstruieren, scheiterten jedoch (Kempelen 1791a: 414, vgl. auch Hindenburg 1784 und Abb. 10). Zumindest mit den in Saarbrücken entstandenen Nachbauten der Sprechmaschine ist in eingeschränkter Form allerdings eine Form der Prosodie möglich, die Kempelen nicht beschreibt: Durch eine Erhöhung bzw. Senkung des Luftdrucks im Balg ist – einhergehend mit einer Zu- bzw. Abnahme der Klangintensität – ein geringes, aber wahrnehmbares Ansteigen bzw. Absinken der Stimmtonhöhe möglich. Dies erlaubt es, zusammen mit einer leicht erhöhten Dauer der als prominent intendierten Silbe prosodische Effekte zumindest anzudeuten.

3.2.2 Zusammenfassende Bewertung

Es lassen sich drei voneinander unabhängige Sprechmaschinen-Konstruktionen Kempelens feststellen: Die erste Maschine war in der Lage, isolierte Laute zu produzieren. Die zweite Konstruktion verband diese Fähigkeit bereits mit einer mechanischen Steuerung nach dem Vorbild einer Orgel und dürfte damit der Konstruktion Kratzensteins nahe gekommen sein. Die dritte und wohl letzte Sprechmaschinen-Konstruktion Wolfgang von Kempelens erlaubte schließlich zusammenhängende Rede, wenn auch mit recht erheblichen Einschränkungen in Hinblick auf das verfügbare Lautinventar.

Über die tatsächliche und endgültige Gestalt der dritten Sprechmaschine, so wie sie Wolfgang von Kempelen selbst konstruiert hat, besteht bislang Unklarheit. Zwar präsentiert Kempelen in seinem "Mechanismus" eine genaue Beschreibung samt Abbildungen des Aussehens, doch gibt es berechtigte Zweifel, diese Darstellung in allen Einzelheiten als getreues Abbild der tatsächlich existenten Sprechmaschine Kempelens betrachten zu können:

Im Jahre 1783 scheint das dritte Modell der Sprechmaschine bereits soweit fertiggestellt gewesen zu sein, dass Kempelen sie auf seiner bereits erwähnten

"Tournee" zusammen mit dem Schachtürken präsentierte und tiefen Eindruck hinterließ:

"Ein Fräulein von meiner Bekanntschaft, tratt eben in das Zimmer wo dieser Redner [FB: Kempelens Sprechmaschine] stand; als sie Ihren Namen Eva ziemlich laut nennen hörte, niemand aber außer dem Erfinder [FB: Kempelen], der sie bewillkommte und dessen Stimme es nicht war, in dem Zimmer sah, erschrack sie so sehr, daß sie auf der Stelle umkehrte und sich von ihrer Furcht nicht eher erholte als bis man ihr den Spaß entdeckte, und das Ding zeigte." (Windisch 1783: 48 f.)

Im Jahre 1784 veröffentlichte der Leipziger Mathematikprofessor Carl Friedrich Hindenburg eine erste – wenn auch eher verklausuliert-nichtssagende – Beschreibung der Sprechmaschine in ihrem damaligen Zustand, zusammen mit einem eigens hierfür angefertigten detaillierten Kupferstich.¹² Da diese Abbildung laut Hindenburg mit dem ausdrücklichen Einverständnis Kempelens, ja sogar unter seiner Kontrolle entstand, kann auf eine große Authentizität geschlossen werden. Umso erstaunlicher ist es zu sehen, dass sich der damalige konstruktive Aufbau der Maschine von der später im *Mechanismus* beschriebenen in mehreren Aspekten ganz erheblich unterscheidet. So ist für die Version von 1783 beispielsweise eine Einrichtung zur Modulation der Stimmtonhöhe belegt, wie sie Kempelen im *Mechanismus* auch erwähnt (vgl. Abb. 10 bzw. Abb. 21 im Anhang sowie Hindenburg 1784).

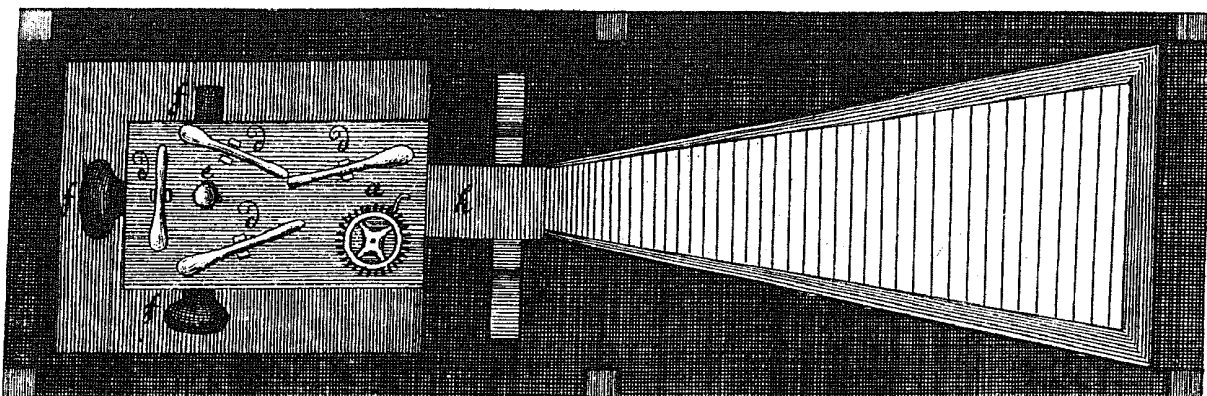


Abb. 10. Draufsicht auf die Kempelensche Sprechmaschine in der Fassung von 1784 (Hindenburg 1784).

¹² Vgl. die vollständige Wiedergabe der Beschreibung bei Pompino-Marschall 1991: 200 ff.

Es muss offen bleiben, warum Kempelen nach einer anscheinend überzeugenden Version, die er um das Jahr 1783 herum der Öffentlichkeit präsentierte, die Konstruktion der Maschine offenbar nochmals stark modifizierte oder ob er die Maschine für die Darstellung im *Mechanismus* schlicht "abspeckte". Möglicherweise erschien ihm auch seine bisherige Lösung mancher Probleme als zu komplex für eine Weiterentwicklung:

"Diese Maschine hat noch keine menschliche Gestalt, sondern sie stellet itzt nur noch ein viereckichtes Kästchen vor in welchem einige Löcher angebracht sind, in welche der Erfinder die Hände steckt, und verschiedene Wechsel, Federn, und Klappen spielen läßt, je nachdem es das Wort erfordert, das ausgesprochen werden soll. Um sich auf der Reise nicht mit unnötigem Gepäcke zu beschweren, will der Erfinder das Außenwerk dazu erst in Paris machen lassen. Er denket ihm die Gestalt eines fünf bis sechsjährigen Knaben zu geben, weil diese Maschine die Stimme eines Kindes von diesem Alter hat." (Windisch 1783: 49 f.)

Zu diesem "Außenwerk" scheint es indes nie gekommen zu sein, Kempelen verliert hierüber auch im *Mechanismus* kein Wort. Vielleicht gelangte er zu dem Schluss, dass es für eine figürliche Ummantelung der Maschine zunächst notwendig sein würde, gewisse grundsätzliche Probleme seiner Maschine mit einer völligen Neukonzeption zu bewältigen. Nach Windisch war die Maschine dagegen 1782 in Paris "versehen mit einer Kinderfigur" und wurde 1820 durch einen gewissen Robertson in Lüttich ebenfalls "in der Verkleidung eines Kindes vorgeführt" (Köster 1972: 116). Nach persönlicher Mitteilung von Frau Alice Reininger führte Johann Nepomuk Mälzel auf seinen Reisen nach Kempelens Tod eine Puppe mit sich, die "Mama" sagen konnte. Möglicherweise basierte diese auf der Kempelenschen Apparatur.

Zudem hatte Kempelen offenbar die praktische Arbeit an seiner *Sprechmaschine* beim Erscheinen des *Mechanismus* schon seit längerem eingestellt, so dass er einige physiologische Beobachtungen und Vorschläge zu ihrer mechanischen Umsetzung an der Sprechmaschine zwar im Buch abhandelte, sie aber offenbar selbst nicht realisierte (Pompino-Marschall 1991: 210).

Im "Mechanismus der menschlichen Sprache" gibt Kempelen eine recht ausführliche Übersicht darüber, welche Lautqualitäten mit seiner endgültigen, dort

beschriebenen Version der *Sprechmaschine* synthetisierbar sein sollen (Kempelen 1791a: 452 f., vgl. auch Abb. 11a+b). Allerdings wohnen auch dieser Beschreibung, wie bei Kempelen häufiger der Fall, Unklarheiten und unpräzise Angaben inne: Kempelen geht vom lateinischen Alphabet aus, sodass mitunter die Zuordnung der angegebenen Buchstaben zu einem konkreten Laut nicht eindeutig ist. Beispielsweise bleibt unklar, welche konkrete Vokalqualität sich hinter Kempelens Bezeichnung "O" verbirgt, ob es nun ein halboffener oder ein halbgeschlossener gerundeter Hinterzungenvokal sein soll. Ebenso unklar ist, warum offenbar keine vordere Vokalqualität zwischen "E" und "A" möglich sein soll.¹³ Ein Vokal mit /i/-ähnlicher Qualität ist laut Kempelen zwar möglich, allerdings nur recht umständlich. Die Bezeichnung "CH" verwendet Kempelen gleichermaßen für den palatalen wie den velaren (und wohl auch uvularen) stimmlosen Frikativ: "höheres" und "tieferes Ch" (Kempelen 1791a: 279 ff.), so dass nicht vollkommen klar ist, welche konkrete "ch"-Qualität mit seiner Sprechmaschine tatsächlich darstellbar sein soll (vgl. Kempelen 1791a: 453). Auch eine /n/-Qualität soll erreichbar sein, indem nur eines der beiden "Nasenlöcher" der Sprechmaschine geöffnet wird. Dies konnte bislang aber durch den Autor nicht nachvollzogen werden. Möglicherweise handelt es sich hierbei um ein ähnliches Phänomen der kontextuellen Wahrnehmung wie bei den Plosiven.

	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
Plosive	p b										
Nasale	m			n							
Trills				r							
Tap oder Flap											
Frikative		f v		s z	ʃ ʒ		ç	x	χ		h
Lateral-Frikative											
Approximanten											
Lateral-Approximanten				l							

Abb. 11a: Die laut Kempelens Darstellung im *Mechanismus* mit der dritten Version seiner Sprechmaschine synthetisierbaren Konsonanten (die grau dargestellten Frikative sind aus Kempelens Beschreibung nicht eindeutig in ihrer faktischen Qualität bestimmbar).

¹³ Allerdings sind aus Kempelens Angaben ohnehin grundsätzlich keine exakten Vokalqualitäten nachzuvollziehen, weshalb in Abb. 11b die Kardinal-Qualitäten angegeben werden.

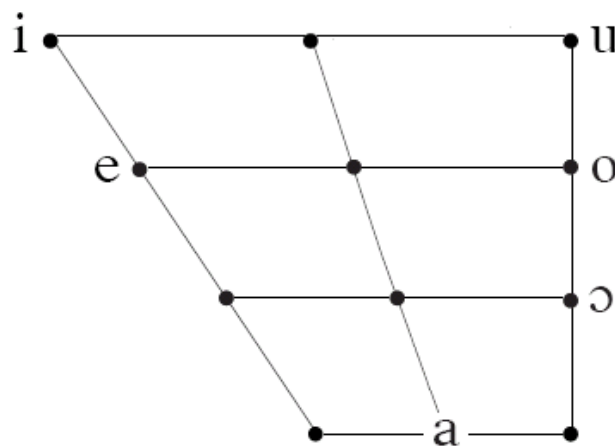


Abb. 11b: Die laut Kempelens Darstellung im *Mechanismus* mit der dritten Version seiner Sprechmaschine synthetisierbaren Vokale.

In Anbetracht der Tatsache, dass Kempelen zunächst mit dem Anspruch angetreten war, eine Maschine zur Synthese "aller Laute" herzustellen, wirkt diese Übersicht zunächst einmal ernüchternd. Wie weit wurde nun Kempelens drittes Sprachsynthesemodell seinem Anspruch, die menschliche Artikulation so gut als möglich nachzubilden, gerecht? Über die menschliche Anatomie ist, auch soweit es die hier behandelten Fragestellungen betrifft, das Allermeiste bekannt. Für die exakten Artikulationsvorgänge gilt diese Feststellung in weniger starkem Maße, denn einige Verhaltensweisen der menschlichen Artikulatoren und auch Artikulationsstellen sind nur indirekt oder unter Beeinflussung derselben beobachtbar.

Kempelens Simulation weist auf den ersten Blick ganz erstaunliche Parallelen zum Menschen auf: Lunge und Blasebalg werden gleichermaßen von außen dahingehend beeinflusst, dass sie ihr Volumen vergrößern oder verringern. Man könnte das Rückstellgewicht des Kempelenschen Blasebalges vielleicht als Äquivalent zum menschlichen Zwerchfell und den Zwischenrippenmuskeln betrachten. Windlade und Trachea besitzen ebenfalls gewisse Übereinstimmungen, problematisch wird es jedoch spätestens bei der Glottis. Bekanntermaßen besitzt der Mensch ein Paar schwingender Stimmlippen, während Kempelens Synthesemaschine quasi auf ein "einseitig gelähmtes" Modell zurückgreift. Kempelen selbst hatte diesen Umstand sehr wohl erkannt und in seinem "Mechanismus" auch das Modell einer membranösen Pfeife präsentiert, die er als optimale Repräsentation der menschlichen Glottis ansah. Warum er für seine Synthese schließlich ein erheblich naturferneres Modell wählte (unabhängig davon, dass Kempelen darin irrte, die *membranöse Pfeife* als Glottis-analogon anzusehen), muss offen bleiben. Wahrscheinlich ist jedoch, dass es rein praktische Gründe hatte, da eine herkömmliche Zungenpfeife recht einfach steuer- und modifizierbar ist. Auch ist schließlich die Ausrichtung der Zungenpfeife in Relation zum übrigen "Vokaltrakt" nicht vollständig naturgetreu.

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass die Zungenpfeife grundsätzlich in adduzierter Grundstellung verharret. Eine Abduktion der "Stimmlippe" ist nur passiv möglich, indem die Luft mit so hohem Druck aus dem Blasebalg in die Windlade geleitet wird, dass das Zungenblatt von der Kehle hochgedrückt wird und nicht zurückfedern kann oder aber, indem die Luft nur mit sehr niedrigem Druck aus dem Balg in die Windlade geleitet wird. In beiden Fällen ist dementsprechend eine "Phonation" nicht mehr möglich (Die tatsächlich notwendige Höhe dieses Luftdrucks ist von der Beschaffenheit des Zungenblattes abhängig. Je nach Material und Stärke sind die Federkräfte des Zungenblattes stärker oder schwächer. Gleichzeitig gilt, dass auch bei einem zu niedrigen Luftdruck die Zungenpfeife nicht ansprechen kann). Dies stellt für die Kempelensche Synthese eine gravierende Einschränkung dar, ist hierdurch doch die Produktion von stimmlosen Lauten ganz erheblich erschwert! Zugleich ist aber auch ein Äquivalent zum Glottalverschluss nicht möglich, ebenso fehlt es an einer Larynxsimulation.

Vollends naturfern modelliert Kempelen schließlich den Vokaltrakt mit der "Zwischenschaltung" des Nasalraumes zwischen Larynx und Mundraum und dem nahezu völligen Mangel an Artikulationsstellen und -organen (vgl. Abb. 12). Kempelens Lösungen für die Synthese von Frikativen sind zwar beeindruckend, sie verlassen aber vollends das Feld einer seriösen artikulatorischen Synthese. Mit dem unterhalb des Nasaltraktes angebrachten zusätzlichen kleinen Plosivbalg schuf Kempelen vermutlich unwissentlich ein Analogon zur menschlichen Anatomie, wenngleich dieser Balg nicht den Effekt hervorruft, den Kempelen intendiert hatte: statt der Verstärkung der Plosion besonders bei stimmlosen Plosiven ermöglicht er durch die kurzfristige "Vokaltrakt"-Erweiterung die Produktion von überzeugend stimmhaften Plosiven (Vgl. die von Ohala und Riordan (1983) beschriebene *compliance* bei stimmhaften Plosiven). Kempelens Lösung zur Erzeugung eines /r/-artigen Lautes ist im gleichen Maße vorbildfern wie kurios. Obwohl also viele Einzelaspekte der Sprechmaschine Kempelens nur als "crude approximations" (Liénard 1991: 22) gelten können, bildet die Maschine viele auch zunächst nicht naheliegende Details der menschlichen Sprachbildung nach, in vielen Fällen wohl eher zufällig.

Was die Artikulationsvorgänge betrifft, so liegt Kempelens Verdienst hier ganz besonders auf der Erkenntnis der Koartikulation und ihrer immanenten Bedeutung für die menschliche Sprachbildung, aber auch für die artikulatorische Synthese. Zugleich ist aber die Koartikulation auch eine der Achillesfersen der Sprechmaschine: Alle mit dem "Mund" synthetisierbaren Laute sind mit einer gewissen Übung und Geschicklichkeit bei mäßigem Sprechtempo durchaus so synthetisierbar, dass die menschliche Koartikulation überzeugend nachgeahmt wird. Anders beim Einsatz der

Frikativgeneratoren. Da diese nicht mit dem "Mund" zusammenhängen und auch separat gesteuert werden müssen, ist es äußerst schwer, sie so in den Syntheseablauf einzubinden, dass der akustische Eindruck einer fließenden Äußerung entsteht. Betrachtet man den Vokaltrakt der Sprechmaschine genauer, so wird auch schnell klar, warum von Kempelen solche Schwierigkeiten hatte, vordere ungerundete Vokale zu synthetisieren: Die Änderung der Vokalqualität bei der Sprechmaschine geschieht – wie bereits erläutert – durch unterschiedliche Handformungen an der Mündung des Mundtrichters. Dies entspricht in etwa der Verlängerung des Vokaltraktes bei der Bildung von gerundeten Vokalen beim Menschen. Zudem ist der "Grundvokal" der Maschine ein [a], sodass die Synthese mehr oder weniger geschlossener ungerundeter Vokale schon allein dadurch eingeschränkt wird.

Kempelens Synthese von Nasalen ist schließlich wiederum nur grob mit dem menschlichen Vorbild zu vergleichen, da hier kein zusätzlicher Resonanzraum äquivalenter Größe zugeschaltet wird, sondern nur ein zusätzlicher Auslass für die angeregte Luft geschaffen ist. Der hervorgerufene Eindruck eines Nasals wird hauptsächlich durch die Dämpfung hervorgerufen, die zustande kommt, wenn die Luft ausschließlich durch die "Nasenlöcher" entweichen muss (vgl. Abb. 12). Betrachtet man allerdings die für Nasalkonsonanten beim Menschen als typisch beschriebenen sog. Antiresonanzen als quasi größtmögliche Dämpfung, so ließe sich rückschließen, dass die Kempelenschen synthetischen Nasale zwar nur unvollkommen, aber doch grundsätzlich den "echten" entsprechen.

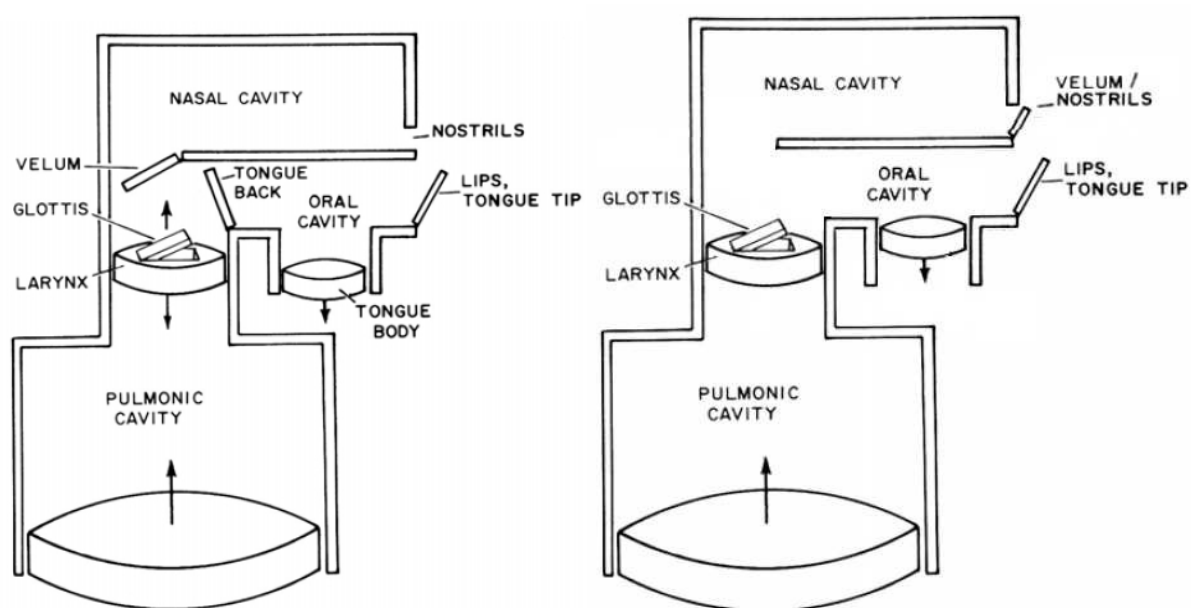


Abb. 12. Vokaltraktschema nach Ohala (1983) im Original (links) und angepasst an die Sprechmaschine (rechts).

3.2.3 Die Sprechmaschine in zeitgenössischen Berichten

3.2.3.1 Allgemeine Beschreibungen

Die Skepsis der Zeitgenossen Kempelens gegenüber dessen Sprechmaschine war groß, hatte man doch in der Vergangenheit allzu viel Erfahrung mit vorgeblichen Wundermaschinen gemacht, die sich stets recht bald als mehr oder minder plumpe Täuschungen erwiesen. Zu dieser Haltung trug auch eine Schrift bei, die eigentlich das Gegenteil hatte bewirken sollen: In den "Briefen über den Schachspieler", die Wolfgang von Kempelens Freund Karl Gottlob Windisch (1725-1793) im Jahre 1783 veröffentlichte, geht dieser zwar in der Hauptsache auf den Schachtürken ein und gibt diesen als raffinierte Täuschung zu erkennen, beschreibt aber im sechsten Brief auch die *Sprechmaschine* und beteuert, dass diese im Gegensatz zum Schachtürken auf keinerlei Täuschung basiere. Nachdem das Wesen des "Schachspielers" aber einmal enthüllt worden war, glaubten zahlreiche Zeitgenossen, in der *Sprechmaschine* nur eine weitere Täuschung vor sich zu haben:

"Von der Sprachmaschine des Herrn von Kempelen, welche nicht nur die fünf Vocale, sondern auch die meisten Consonanten und ganzen Worte ziemlich deutlich hören läßt, glauben viele, daß sie nur zum Schein gebraucht werde, und daß ihr Erfinder selbst die Geschicklichkeit besitze, die zarte Kinderstimme, die man hört, so im Halse zu bilden, daß es scheint, als komme sie aus der Maschine." (Ebert 1785: 51)

Ebert gibt einige Seiten später eine ausführliche Rezension der Windisch-Publikation wieder, die aufgrund ihrer aus heutiger Sicht geradezu kuriosen Kritik an der Sprechmaschine hier ebenfalls auszugsweise zitiert sei:

"Indessen, der Briefverfasser [FB: Windisch] giebt uns schon S. 46 ff. von einer neuen Kempelschen Maschine Nachricht, welche spricht. Er scheint sich ganz zu vergessen, indem er hinzusetzt: 'Gestehen Sie doch, man muß schon einen schöpferischen Geist, ein unbändig kühnes Genie haben, wenn man sich an so etwas wagen darf, und es geräth ihm schon wieder. Er ist schon so weit damit gekommen, daß er die Möglichkeit einer solchen Maschine zeigen und den Gehrten eine neue und

bisher unbekannte Erfindung zu beurtheilen vorstellen kann... Schon beantwortet sie einige Fragen ziemlich deutlich und vernehmlich; ihre Stimme ist ein sanfter Alt, der Ton auch ganz angenehm, das R jedoch spricht sie etwas schnarrend aus. Wenn man etwas nicht versteht oder verstehen will: so wiederholt sie das Gesagte langsam.' Also kann die Maschine hören und verstehn, was man sagt! Man sollte mit solchen Inkonssequenzen kaum Mitleiden haben. 'Wenn man dieses aber noch einmal fordert, so sagt sie es mit einer bösen und aufgebrachten Stimme.' Also hat sie auch Leidenschaften! Was Hr. von Kempelen nicht schaffen kann! 'Ich habe sie in verschiedenen Sprachen Wörter und Redensarten ganz und vernehmlich aussprechen gehört, die ich hier mittheilen will z. B. Papa ff.' Ich übergehe diese Wörter, um die Leser nicht gar zu sehr zu äffen. Ich bemerke nur, daß es größtentheils Lippen und Kehlbuchstaben sind, woraus diese Wörter bestehn; und dieß veranlaßt mich zu schliessen, daß das Sprachrohr, durch welches der versteckte Mensch aus der Maschine spricht, noch nicht diejenige Richtung erhalten hat, welche erforderlich ist, um Zahn- Gaum- Zungen- und Nasenbuchstaben durch den Mund der Maschine zu stoßen [...]. Von der Schachmaschine wird nun endlich bekannt, daß sie ein Blendwerk ist, nachdem man sie viele Jahre für eine wirklich spielende Figur gehalten hat. Schon deshalb kann niemand Vertrauen auf die sprechende Maschine setzen. Aber überhaupt muß man erstaunlich unwissend seyn im Bau jedes Sprachorgans und seiner Widmung, und im Zusammenwirken sämtlicher Organen zur Artikulation menschlicher Stimme, kurz im Mechanismo menschlicher Sprache, wenn mans selbst glauben und anderen überreden will, daß es nur im geringsten möglich sey, Maschinen zu erfinden, welche artikulierte Töne zu reden vermögen. [...] Aber ich wünschte, daß der V. [FB: Verfasser] und auch der H. von Kempelen sich mit den Schriften eines Paul Bonnet, [...], Helmont [FB: sic!] [...] bekannt machen möchten,

um daraus das Gebäude der Menschengesprache kennen zu lernen" (Rm. 1783: 278 ff.)

Ähnlich zweifelnd äußert sich auch Friedrich Nicolai (1733-1811, dt. Schriftsteller, Kritiker und Hauptvertreter der Berliner Aufklärung):

"Ein rußischer Künstler Kischnick [FB: der Petersburger Orgelbauer Franz Kirsnick (1741-1802), der nach dem Vorbild der Kratzensteinschen Vokalpfeifen Orgelregister entwickelte (Busch & Geuting 2007: 185)] sollte drei Vokale herausgebracht haben; das hielt man schon für viel. Aber doch konnte es Hr. Bernoulli nicht zu hören bekommen. [...] Und der Hr. v. Kempelen will Vokale und Konsonanten und Wörter heraus bringen? Seine Sprachmaschine giebt einen feinen kindischen Ton von sich; es ist also wohl zu erachten, daß eben das Kind, welches im schachspielenden Türken den Arm bewegt, auch hier seine kindische Stimme vermittelt einer sehr bekannten akustischen Vorrichtung hören läßt. Es kann einer der Füße des Tisches, worauf dieß Kästchen steht, hol seyn, und auf ein kleines Loch im Boden passen. Der Schall kann auf mannichfaltige andere Art hineingebracht werden. Um zu entdecken, wie es geschiehet, ist nicht bloß ein Mathematiker nöthig wie Herr Hindenburg, der ohne Betrug zu vermuthen, nur bloß wissenschaftliche Theorie sucht." (Nicolai 1785: 430ff., zitiert n. Pompino-Marschall 1991: 204 f.)

Die Verbitterung und Enttäuschung über die offenbar vollkommen gelungene Täuschung, die Kempelen mit den Vorführungen seines Schachtürken gelang, scheint erheblich gewesen zu sein (vgl. auch Pompino-Marschall 1991: 199 ff.); der Verweis des Rezensenten Rm. ausgerechnet auf van Helmont mutet in der Retrospektive allerdings geradezu bizarr an. Die "Tournée" Kempelens fand nichts desto trotz ein großes Echo, auch im Ausland:

"Mais on voit chez lui [FB: Kempelen] une autre machine qui n'a pas moins de mérite: c'est une machine qui parle & qui articule assez distinctement: maman, aimez moi, allons à Paris, &c. Nous avons rendu compte du Mémoire qui a remporté le Prix de l'Académie de Péters-

bourg en 1780, par M. Kratzenstein, sur la manière d'exprimer les sons des voyelles par des tuyaux s'organes: mais on n'étoit pas encore parvenue à imiter l'articulation des consonnes, & cette entreprise de M. De Kempelen annonce un talent également singulier; il est à désirer qu'il publie bientôt les moyens. " (Anonymus 1783: 629 f.)

"Besides this Automaton [FB: der *Schachtürke*], there is another Machine [FB: die *Sprechmaschine*] to be seen, not less wonderful and new. Such a Contrivance was attempted in several Ages, without any Success, and its Performance reputed quite impossible. This Machine now is brought into Execution, consisting in a small Organ, which having the Voice of a child between five and six Years of Age, speaks a great many Words very distinctly when played by its Inventor." (Londoner Programmzettel von 1783, zitiert nach Pompino-Marschhall 1991: 200)

Bemerkenswert ist hierbei die ausdrückliche Hervorhebung der Kempelenschen *Sprechmaschine* gegenüber der Kratzensteinschen Erfindung, mit der sich nur Vokale synthetisieren ließen.

3.2.3.2 Zur Synthesequalität

Im Zusammenhang mit Kempelens Vorführungen der *Sprechmaschine* zu Beginn der 1780er Jahre erschien eine ganze Anzahl von Berichten und Beschreibungen, die häufig zwar hauptsächlich den Schachtürken Kempelens zum Thema hatten, die *Sprechmaschine* aber in diesem Zusammenhang auch ebenfalls mehr oder minder ausführlich würdigten. Diese rege zeitgenössische Berichterstattung über Kempelens Vorführungen seiner *Sprechmaschine* lässt in aller Regel den Eindruck einer überzeugenden Sprachsynthese entstehen:

"Durch diese Maschine zwingt Herr von Kempelen wirklich artikulierte Töne aus seiner Maschine, welche die Worte, wie er sie laut vorsagt, in einem weinerlich-komischen Tone eines fünf- bis sechsjährigen Kindes vernehmlich nachspricht: Ma chere Mama, aimés moi; je Vous

aime de tout mon cher coer - Oh, ma chere Mere, on m'a fait du ma-a-a-al u.s.w. Ich führe diese Phrasen hier an, nicht eben ihres merkwürdigen Inhalts wegen, sondern weil es die ersten Worte sind, die die Maschie gewöhnlich spricht, und auf deren deutliche Hervorbringung der Künstler sich vornemlich geübt zu haben scheint. " (Hindenburg 1784: 51)

"Hierauf streckte er die rechte Hand durch das große Loch ins Kästgen, drückte mit dem Arme und Ellenbogen den Blasebalg nieder und sprach völlig mit der Stimme eines drey bis vier jährigen Kindes, sehr deutlich und vollkommen gut artikuliert in dem Kästgen aus: ,Oh Maman, Maman, on m'a fait mal!" (Anonymus 1784a: 180)

"Das erste was wir hörten war: ,Mama, Papa, à ma chere Mama on m'a fait du mal.' Und nun konnte jeder in der Gesellschaft ein Wort fordern. Alle sprach die Maschine mit der größten Deutlichkeit aus. Auch die doppelten Vocale und Konsonanten pronunziert sie sehr rein und richtig. Der Ton ist wie bei einem Kind von drei Jahren. Zuweilen kam das verlangte Wort nicht gleich zum erstenmal richtig heraus, der Künstler mußte verschiedene Versuche machen. Er entschuldigte sich damit, daß einer, der die Violinen macht, sie darum nicht auch fertig spielen könne." (Anonymus 1784b: 483 f.)

"Jedermann erstaunte, als er diese so einfache Maschine, welcher der Erfinder sehr leicht eine menschliche Gestalt hätte geben können, und vielleicht künftig auch noch geben wird, überaus deutlich und vernehmlich reden hörte [...]. Die Finger der einen Hand legte er [FB: Kempelen] auf die Oeffnungen des inneren kleinen Kästchens, die Finger der anderen Hand aber auf die Klappen und brachte auf diese Art mit ebensolcher Leichtigkeit, womit man auf der Flöte eine Arie spielt, nicht nur einzelne Sylben und Wörter, sondern auch ganze Redensarten, und zusammenhängende Fragen und Antworten hervor. Die Maschine hatte ohngefähr die Stimme eines drey bis vierjährigen Kindes, und diese Ein-

richtung war von dem Erfinder sehr weislich gemacht worden, weil die Maschine manche schwere Sylben, die aus dem Zusammenfluß vieler Consonanten entstehen, noch nicht vollkommen deutlich aussprechen konnte. Sie werden es, meine Herren, pflegte er sich scherzend auszudrücken, einem vierjährigen Kinde leicht verzeihen, wenn es noch ein wenig lallet, und nicht wie ein erwachsener Mann reden kann. Unterdessen muß man dieses Lallen nicht unrecht verstehen. Es giebt viele erwachsene Personen, welche manche Wörter lange nicht so deutlich aussprechen können, als diese hölzerne Maschine. [...] Sogar die nicht leichten Wörter, Constantino-pel, Mississippi, Xerxes, Monomotapa, Astracan und Madagascar, konnte sie deutlich aussprechen. Das Wort Schachspieler wurde ihr unter allen vorgesagten Wörtern am schwersten, vorzüglich die erste Sylbe dieses Worts. Wenn noch einmal nach einer Sache gefragt wurde, als wenn man sie nicht recht verstanden hätte, so wiederholte die Maschine das gesagte mit einer stärkeren und gleichsam unwilligen Stimme. [...] Schon beantwortete sie einige Fragen ziemlich deutlich und vernehmlich; ihre Stimme ist ein sanfter Alt, der Ton auch ganz angenehm, das R jedoch spricht sie etwas schnarrend aus." (Ebert 1785: 47 ff.)

"Grimm [wohl: Friedrich Melchior Grimm (1723-1807), dt. Schriftsteller und Diplomat], der den Synthetisator 1783 in Augenschein nehmen konnte, schrieb, daß sie klar auf Fragen antworten konnte, nur das r sei holprig und heiser gewesen. Jedenfalls habe das Ergebnis einen besseren Eindruck als das von der Maschine des Abbé Mical hinterlassen." (Köster 1972: 116 f.)

Johann Wolfgang von Goethe gibt in einem Brief vom 12. Juni 1797 an den Herzog Carl August von Sachsen-Weimar-Eisenach eine knappe Beschreibung eines der wohl ersten Nachbauten der Kempelenschen Sprechmaschine:

"Kempelens Sprechmaschine, welche Hofr. Loder [Justus Christian Loder (1753-1832), zusammen mit Goethe Ent-decker des Zwischenkieferknochens] besitzt und die zwar

nicht sehr beredt ist, doch aber verschiedene kindische Worte und Töne ganz artig hervorbringt, ist hier, durch einen Tischer [FB: sic!] Schreiber, recht gut nachgemacht worden." (Goethe 1893: 154)

Eine etwas abweichende Beschreibung der Maschine liefert schließlich Friedrich Wolf [Friedrich August Wolf (1759-1824), dt. Altphilologe und Altertumswissenschaftler]:

"[FB: Die Maschine besteht] aus einem Kasten mit einem Flötenwerk, Klaviatur und Blasebalg. Die einzelnen Pfeifen gaben die verschiedenen Buchstaben mit großer Bestimmtheit und Reinheit an, sobald durch den Ellenbogen der Blasebalg gedrückt und durch Berührung der erforderlichen Tasten der Luft in die korrespondierenden Pfeifen der Eintritt gestattet wurde. Willkürliche Redesätze in deutscher und französischer Sprache, die ich der Maschine vorsagte, wurden mit der Stimme eines etwa dreizehnjährigen Mädchens [FB: sic!] wiederholt." (zitiert nach Reininger 2007: 337)

4. Die Sprechmaschine in der späteren Rezeption

4.1 Nachbauten der Sprechmaschine und ihre Synthesequalität

Stand Wolfgang von Kempelens *Sprechmaschine* zu seinen Lebzeiten nahezu stets im Schatten des noch berühmteren "Schachtürken" – auf den bereits erwähnten Tournéen wurde in der Hauptsache der Schachspieler gezeigt, die *Sprechmaschine* nur auf besondere Nachfrage im Anschluss daran – so regte sich bereits wenige Jahrzehnte nach Kempelens Tod ein starkes Interesse an ihr. Bereits Johann Wolfgang von Goethe kannte offenbar einen Nachbau der Kempelenschen Sprechmaschine (vgl. Zitat vorhergehende Seite), doch erst in den 1830er Jahren entstand ein neuerliches wissenschaftliches Interesse an den Forschungsarbeiten Wolfgang von Kempelens. Die Gelehrten Sir Charles Wheatstone und Robert Willis beschäftigten sich nahezu zeitgleich mit Kempelens Arbeit. Ersterer schuf 1835 auf Grundlage des *Mechanismus* einen wahrscheinlich weitestgehend originalgetreuen Nachbau – er ist bis auf den heutigen Tag in einem Magazin des Londoner Science Museum als "Wheatstone's

artificial voicebox" erhalten¹⁴ –, den Alexander Graham Bell 1863 durch seinen Vater kennen lernte und der ihn direkt zum Bau eines eigenen "sprechenden Kopfes" nach Kempelens Vorbild und indirekt zur Entwicklung des Telefons anregte. Willis hingegen suchte um 1832 auf experimentellem Wege die Gründe für Erfolg und Misserfolg der Synthesemaschinen Kratzensteins und von Kempelens zu ergründen. (Dudley & Tarnoczy 1950: 155).

Weitere Repliken der Kempelenschen Maschine entstanden vor allem ab den 1960er Jahren:

- an der Universität Utrecht durch Marcel van der Broecke (1967),
- am Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur durch Jean-Silavin Liénard, Paris (1968)
- an der Universität York durch David Howard (um 1993)
- im Musée des Musiques Populaires in Montluçon (Frankreich) durch Serge Durin und Jean Jeltsch (2001)
- am Kempelen Farkas Speech Research Laboratory, Research Institute for Linguistics in Budapest durch Péter Nikléczy und Gábor Olaszy (2001/2002)
- an der Universität für angewandte Kunst Wien durch Brigitte Felderer und Ernst Strouhal (2004)
- an der Universität des Saarlandes durch Dominik Bauer und den Autor (2007-09)
- ein weiterer, jedoch unvollständiger, Nachbau in Montluçon durch Jean Jeltsch (2008)
- zwei baugleiche Repliken für die TU Dresden und das Heinz Nixdorf MuseumsForum Paderborn wiederum durch den Autor, unter Mithilfe der Orgelmanufaktur Mayer aus Heusweiler (2009).

Mit Ausnahme der Arbeit von Felderer und Strouhal orientieren sich alle diese Repliken in Konstruktion und Material recht stark an den überlieferten Vorgaben (vgl. Tabelle 1). Dem Autor sind zudem weitere zwei Vorhaben bekannt, eine Replik der Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens entweder selbst zu erstellen oder zu erwerben. All dies zeigt, wie groß das Interesse an der Arbeit Wolfgang von Kempelens in den letzten Jahren wieder geworden ist.

¹⁴ Persönliche Mitteilung von Graham Wheeldon. Nach Auskunft von Gordon Ramsay ist die Maschine allerdings nur noch fragmentarisch erhalten.

Da es außer Kempelens Beschreibung keine Vorlagen für einen Nachbau gibt, mussten und müssen sich alle diese Nachbauten zunächst an dieser Quelle orientieren. Zudem gilt die Originalapparatur als verschollen. Nach Kempelens Tod gingen der "Schachtürke" und die *Sprechmaschine* in den Besitz Johann Nepomuk Mälzels über, heute noch bekannt als (Mit-)Erfinder des Metronoms. Während das Schicksal des "Schachtürken" bis zu seiner Zerstörung in Amerika 1854 weitgehend bekannt ist, verliert sich die Spur der Kempelenschen Synthesemaschine rasch. Spätestens ab 1828 ist ihr Schicksal vollkommen ungewiss (Pompino-Marschall 1991: 255).

Einige Hinweise auf Details der tatsächlichen Gestalt der *Sprechmaschine* Kempelens vermag ein Exemplar zu geben, das seit 1906 im Deutschen Museum München aufbewahrt wird. Die Ursprünge dieser Maschine sind bislang nicht restlos geklärt: Bis 1906 befand sie sich im Besitz des k. k. Konservatoriums in Wien, vor diesem Datum ist nichts über die Maschine und ihre Herkunft bekannt. Ob diese *Sprechmaschine* möglicherweise zumindest in Teilen noch auf Wolfgang von Kempelen selbst zurückgeht, ist bislang unklar. Da Kempelen in Wien wirkte und starb, könnte die *Sprechmaschine* nach seinem Tod durchaus in ein Wiener Museum aufgenommen worden sein

Bei einer ausführlichen Untersuchung dieses sog. "Münchener Exemplars" durch den Autor im Februar 2008 konnten zumindest zwei Bauphasen an der Maschine festgestellt werden, von denen die ältere aufgrund der angewendeten Materialien und Fertigungstechniken nach Auskunft des Leiters der Modellbauwerkstatt des Deutschen Museums, Herrn Franz Huber, durchaus im späten 18. Jahrhundert gelegen haben könnte.¹⁵ Das "Münchener Exemplar" entspricht in weiten Teilen den im *Mechanismus* wiedergegebenen Beschreibungen, Abbildungen und Maßen Kempelens. In mehreren Aspekten weicht es davon jedoch erheblich ab (so beispielsweise in der Konstruktion der Frikativ-Generatoren und der Zungenpfeife. Zudem besteht an dieser Maschine die Möglichkeit, die Stimmtonhöhe zu modifizieren) und ähnelt in manchen Aspekten eher dem Zustand der Sprechmaschine, wie sie 1784 durch Hindenburg¹⁶ beschrieben wurde. Diese Abweichungen beschränken sich indes nicht nur auf die erkennbar jüngeren Bauteile, was eine direkte Abstammung von Kempelen unwahrscheinlich macht.

¹⁵ Abbildungen dieser Maschine siehe im Anhang 7.3, Abb. 23-25

¹⁶ Vgl. Pompino-Marschall 1991: 200 ff.

Tabelle 1. Derzeit bekannte Nachbauten der Sprechmaschine Kempelens.

Jahr	Ort	Erbauer	originalgetreu	Zungenmaterial	Quelle
(vor) 1797	Jena	Loder	wahrscheinlich	unbekannt	Goethe (1893)
1835	London	Wheatstone	weitgehend	unbekannt	Wheatstone (1879)
vor 1906	Wien / München	unbekannt	weitgehend	Elfenbein	persönl. Mitteilung von Silke Berdux
1967	Utrecht	van den Broecke	ja	Messing	van den Broecke (1983)
1968	Paris	Liénard	ja	Elfenbein	Liénard (1969)
1993	York	Howard	teilweise	Messing	persönl. Mitteilung von David Howard
2001	Montluçon	Durin	weitgehend	Elfenbein	persönl. Mitteilung von Jean Jeltsch
2001/02	Budapest	Nikléczy / Olaszy	ja	Elfenbein	Nikléczy & Olaszy (2003)
2004	Wien	Felderer / Strouhal	nein	Messing	Felderer & Strouhal (2004)
2007-09	Saarbrücken	Bauer / Brackhane	ja	Elfenbein / Messing	Brackhane & Trouvain (2008)
2008	Monlucon	Jeltsch	weitgehend	Elfenbein	persönl. Mitteilung von Jean Jeltsch
2009	Dresden	Brackhane/ Mayer	ja	Elfenbein	Brackhane
2009	Paderborn	Brackhane/ Mayer	ja	Elfenbein	Brackhane

Vergleicht man die in den zeitgenössischen Quellen mitgeteilte klangliche Beschreibung der Kempelenschen Originalmaschine mit dem auditiven Eindruck, den die modernen Rekonstruktionen aus Paris, Budapest und Saarbrücken hinterlassen, so wirft dies einige Fragen auf. Weder beispielsweise der ambitionierte und sehr zeitaufwändig konstruierte Nachbau aus Budapest noch die in vergleichsweise kurzer Zeit konzipierte und realisierte Maschine in Saarbrücken synthetisieren Sprache in einer Qualität und Vielfalt, die man ohne weiteres als authentisch und typisch für ein drei- bis sechsjähriges Kind bezeichnen würde: In beiden Fällen hat die Stimmqualität einen leicht penetrant und tendenziell quäkenden, hypernasal wirkenden Charakter, die theoretisch unterschiedlichen Lautqualitäten (insbesondere bei den Vokalen) wirken sehr einförmig und sind oft nur kontrastiv erkennbar.

Auch Liénard attestiert der Kempelenschen Synthesemaschine (bzw. seinem eigenen Nachbau derselben), dass sie lediglich Lautfolgen, die aufgrund des Kontrastes leicht identifizierbar sind, gut perzipierbar produziere. Bei anderen Lautfolgen sei das intendierte Wort nur aufgrund der wenigen tatsächlich leicht verständlichen Laute erkennbar (Köster 1972: 118).

Es stellt sich also die Frage nach dem Grund für diese scheinbare Diskrepanz zwischen historischem Vorbild und den modernen Nachschöpfungen. Bewegen sich diese Nachbauten tatsächlich so nahe am Original, wie ihre Erbauer meinen? Oder liegen konstruktive Mängel vor, die die Qualität der Sprachsynthese erheblich beeinträchtigen?

Eine Anmerkung Hindenburgs legt den Schluss nahe, dass die überlieferte hohe Akzeptanz der Maschine trotz einer eher untypischen Stimmqualität zustande kam:

"Bey den Pseudosprachmaschinen der geringern und vornehmerscheinenden Herumstreifer ist die zugeführte verdampfte Menschenstimme des plumpen Marktschreyergehülffens unverkennbar: Bey Herrn von Kempelens Werkzeuge hingegen, war alles nur ganz zu sehr Maschinenton, der sich aber schwerlich mit einem bekannten Instrumente vergleichen läßt; allenfalls (für manche Wörter und Töne) schien es, als ob man sie in eine Hautbois durch ihren Ansatz hineinredete. Die sogenannte Vox humana in der Orgel, so weit sie auch von der Menschenstimme noch entfernt ist, kommt ihr gleichwohl noch näher. So muß hier selbst die Unvollkommenheit des Werkzeuges von dieser Seite ein lautes Zeugnis für die Wahrheit ablegen!" (Hindenburg 1784: 54)¹⁷

Da von zumindest drei vollkommen unabhängig voneinander entstandenen Nachbauten der Sprechmaschine (Liénard 1968, Olaszy 2001 und Bauer & Brackhane 2007/08, vgl. auch Tabelle 1) schriftlich oder akustisch deren Klangeindruck überliefert ist und dieser in allen drei Fällen Charakteristika ähnlich denen der durch Hindenburg beschriebenen aufweist, ist wohl nicht von einer Fehlkonstruktion auszugehen, im Gegenteil.

Einen anderen Erklärungsansatz für die Diskrepanz zwischen objektiver Stimmqualität und deren subjektiver Akzeptanz liefert Köster. Danach ist die

¹⁷ Dieses Zitat ist insbesondere im Kontrast zu den oben zitierten übrigen zeitgenössischen Berichten interessant, die stets den Anschein erwecken, als sei die Stimmqualität der *Sprechmaschine* sehr authentisch gewesen.

qualitative Bewertung der Synthese der Kempelenschen Originalmaschine auf ein psychologisches Phänomen zurückzuführen:

"Daß es bei dieser beschränkten Leistung sehr darauf ankam, die Perzeption der künstlich artikulierten Sprache mit prosodischen Mitteln zu unterstützen, war selbstverständlich auch Kempelen klar. Deshalb achtete er bei der Vorführung auf die genaue Imitierung des Akzentes der erzeugten Wörter und Sätze. Weiter setzte Kempelen augenscheinlich bewußt das Mittel der Autosuggestion ein. Viele Autoren, die über die Maschine und Vorführungen mit ihr berichten, betonen, daß die Maschine häufig dieselben Wörter wiederholte oder daß Wörter, die ein Zuhörer vorher gewünscht (also ausgesprochen) hatte, imitiert wurden. Daß unter solchen Bedingungen die Leistung der Maschine minimal sein kann, wird dem verständlich erscheinen, der die kapitale Rolle der Suggestion in der akustischen Perzeption kennt." (Köster 1972: 125)

Liénard weist ebenfalls auf diesen Sachverhalt hin:

"On est surtout aisément induit en erreur quand on sait d'avance le mot que le machine doit dire, et lorsqu'elle a prononcé on s' imagine d'avoir entendu ce que l'on a voulu entendre." (Liénard 1968: 11, vgl. auch Kempelen 1791b: 450)

"Man wird vor allem leicht zu Fehlern verleitet, wenn man das Wort, das die Maschine sagen soll, im Voraus weiß, und sobald sie es ausgesprochen hat, bildet man sich ein, das gehört zu haben, was man hören wollte." (Übers. FB)

Dass die vorangehende Ankündigung dessen, was die Sprechmaschine im Folgenden "sprechen" würde, einen erheblichen Einfluß auf das Erkennen des Synthetisierten hatte, gab Kempelen auch selbst freimütig zu:

"Besonders wenn man weiß, was für ein Wort die Maschine sagen soll, wird man, wenn sie es ausspricht, gar leicht verführt, und glaubt es recht gehört zu haben.

Wenn es aber auch ein feines Gehör bemerkt, so kömmt der Maschine immer ihre kindliche Stimme zu statten, und man läßt es einem Kinde hingehn, wenn es zuweilen lallt, oder einen Buchstaben anstatt des anderen hinsetzt; man begnügt sich verstanden zu haben, was es sagen wollte." (Kempelen 1791a: 442 f.)

Ein ähnlicher Umstand scheint übrigens auch der großen Akzeptanz der Synthesequalität der Maschine des Abbé Mical zugrundegelegt zu haben:

"Daß Rivarols [FB: Antoine de Rivarol (1753–1801), frz. Schriftsteller] Meinung, die Synthesemaschine [FB: des Abbé Mical] artikuliere Sätze mit absoluter Klarheit, falsch gewesen sein muß, deutet auch der Umstand an, daß das Publikum die produzierten Sätze auf einem Plakat ablesen konnte [...]." (Köster 1972: 89)

Dieses hier beschriebene Phänomen, dass Zuhörer glauben, das zu hören, was sie zu hören erwarten und auch, dass die Bediener einer Sprachsynthese glauben zu hören, was sie zu synthetisiert haben glauben, wird durch eigene Beobachtungen gestützt (Brackhane & Trouvain 2008: 329 f.).

Die in den historischen Quellen belegte große Akzeptanz und Begeisterung für die Qualität der Kempelenschen Synthese scheint demnach Großteils auf einer Mischung aus Suggestion und Entertainment basiert zu haben, wie der Autor des Artikels im "Teutschen Merkur" sehr eindrücklich belegt (Anonymus 1784a: 180 f.). Dieser "Erlebnisbericht" schildert ausführlich eine Vorführung der Maschine durch Kempelen selbst und lässt erahnen, wie stark die Akzeptanz der Maschinensynthese von der geschickten Präsentation durch Kempelen abhing. Denn weiß man um die Konstruktion der Sprechmaschine und ihre Limitationen, so scheint es geradezu unglaublich, wenn der anonyme Autor im "Teutschen Merkur" schreibt:

"[...] hingegen andere Worte, die wir ihm aufgaben, z. E. Mississippi, Constantinople u.s.w. machten ihm gar keine Schwierigkeiten." (Anonymus 1784a: 181)

Aber auch die modernen Nachbauten der Kempelenschen Synthese scheinen mitunter eine beeindruckende Wirkung gehabt zu haben: van den Broecke erwähnt, dass Liénard bei Vorführungen seiner Replik verdächtigt worden sei, die gehörten Äußerungen durch ein versteckt gehaltenes Kleinkind "erzeugt" zu haben (van den Broecke 1983: 15). Auch bei den Vorführungen und Experimenten des Autors mit

seinem eigenen Nachbau geschah es bisweilen, dass selbst ins Bild gesetzte Zuhörer bzw. Versuchspersonen ob der Güte des Gehörten nicht an eine Synthese glauben wollten (Freilich handelte es sich bei den synthetisierten Wörtern meist um Wörter wie /mama/ oder /papa/, die mit dieser Synthesemaschine in der Tat sehr gut und einfach produzierbar sind.).

Insgesamt konstatierten jedoch zumindest einige Konstrukteure einer Kempelen-Replik eine eher mäßige Synthesequalität ihrer Maschinen. So berichtet beispielsweise van den Broecke über den Nachbau Liénards, dieser habe eine Stimmtonhöhe von etwa 400 Hz und besitze bei völlig offenem Mundtrichter eine Energiespitze bei etwa 2000 Hz, was zu einem "fairly identifiable /a/ sound as spoken by a two to three year old child" (van den Broecke 1983: 13) führe. Die Vokale /o/ und /u/ waren durch sukzessive Annäherung der linken Hand an den Mundtrichter "with some benevolence" erkennbar (van den Broecke 1983: 14), alle übrigen Vokale "were restituted only as crude approximations" (Liénard 1991: 22).

Mit seinem eigenen, nahezu zeitgleich mit dem Liénards entstandenen Nachbau gelangte van den Broecke zu sehr ähnlichen Ergebnissen:

"The results [...] are essentially the same as those obtained by Liénard: Two different vowels can be produced on this replica, viz. an /a/-like and an /o/-like vowel. [...] Even a fair amount of practice failed to improve the performance described to any appreciable extend." (van den Broecke 1983: 15)

Van den Broecke gelang es zudem nicht, ein funktionsfähiges Zungenblatt aus Elfenbein herzustellen, sodass er auf ein herkömmliches aus Messing zurückgreifen musste. Im Vergleich mit der Replik Liénards, die über ein Elfenbeinzungenblatt verfügt, wurden die Vokalqualitäten der Maschine, dadurch jedoch nicht nennenswert beeinflusst (van den Broecke 1983: 18).

Auch der Autor musste bei seinen Versuchen mit dem Saarbrücker Exemplar der Sprechmaschine feststellen, dass mit Ausnahme der Laute [a] und [m] (und mit gewissen Einschränkungen auch [p] bzw. [b]), die sehr einfach und recht überzeugend darstellbar sind, sämtliche anderen nach Kempelen mit der Maschine synthetisierbaren Laute nur schwer und approximativ realisierbar sind.

4.2 *Anmerkungen zum Saarbrücker Nachbau: Erkenntnisse und Schwierigkeiten*

Ab Januar 2007 entstand am Institut für Phonetik der Universität des Saarlandes (IPUS) auf Anregung von Dr. Jürgen Trouvain ein Nachbau der Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens. Die Durchführung dieses Projekts lag bei Dominik Bauer und dem Autor. Die Konzeption des Nachbaus orientierte sich an den Vorgaben, die sich in Kempelens *Mechanismus* finden sowie an Maßen, die dem einige Jahre zuvor am Kempelen Farkas Speech Research Laboratory, Research Institute for Linguistics in Budapest entstandenen Nachbau (s.o.) zugrunde liegen.¹⁸ Da sich bereits in der Vorbereitung zeigte, dass manche Bestandteile der Maschine nur mit professionellen Mitteln zufriedenstellend würden konstruiert werden können, wurde die Orgelmanufaktur Hugo Mayer GmbH (Heusweiler/Saar) um Hilfe gebeten, die sie auch in Form eines Sponsorings zur Verfügung stellte. Zu einem späteren Zeitpunkt konnte zudem zusätzlich noch die Mechanische Werkstatt des Leibniz-Instituts für Neue Materialien gGmbH (INM) in Saarbrücken zur Mithilfe gewonnen werden.

Der Saarbrücker Nachbau der Sprechmaschine Wolfgang von Kempelens konnte anlässlich des 17. International Congress of Phonetic Sciences in Saarbrücken im August 2007 und im Rahmen der Ausstellung "Von Prof. Higgins zum sprechenden Computer: Eine kleine Geschichte der Phonetik"¹⁹ im Juli und August 2007 in der Saarländischen Universitäts- und Landesbibliothek in seinen Grundfunktionen vorgestellt werden. In der Folge wurden beständig weitere Details und Verbesserungen angebracht, eine tatsächlich endgültige Fertigstellung ist jedoch derzeit nicht absehbar (Bislang fehlt am Saarbrücker Nachbau noch die durch Kempelen beschriebene Einrichtung zur Erzeugung eines "r"-Lautes (vgl. Kempelen 1791a: 419 ff. und Tab. XX), da deren bei Kempelen angegebene Konstruktion in Verbindung mit den äußerst empfindlichen Zungenblättern aus Elfenbein sehr bedenklich erscheint.).

Bereits während der Lektüre der Beschreibung aus Kempelens Hand wurde deutlich, dass ein nur auf diesen Angaben basierender Nachbau aufgrund häufig fehlender Detailgenauigkeit eine überaus langwierige Arbeit mit Aussicht auf zahlreiche Fehlversuche werden würde. Auch bei anderen Nachbauten stellten Kempelens Beschreibungen ein Problem dar:

"[...] Liénard klagte, daß die Konstruktion [...] nach den Kempelenschen Angaben ohne eigene Experimente und ständige Sonographen-Gegenkontrollen unrealisierbar gewesen wäre." (Köster 1972: 118).

¹⁸ Hier gilt mein besonderer Dank Prof. Marià Goszy und Prof. Gábor Olaszky für die Überlassung der Daten.

¹⁹ Siehe auch: <http://www.icphs2007.de/higgins> (zuletzt besucht am 12. Januar 2009)

Bei der 2002 in Budapest entstandenen Replik wurde einige Zeit nach der Fertigstellung die Zungenpfeife gegen eine vollständige Neukonstruktion ausgetauscht (persönliche Mitteilung von Prof. Gábor Olaszy). Daher waren die vom Kempelen Farkas Speech Research Laboratory, Research Institute for Linguistics in Budapest bereitgestellten Informationen höchst willkommen. Einige Detailfragen klärten sich allerdings erst nach einer genauen Untersuchung des Sprechmaschinen-Exemplares, das sich im Deutschen Museum München befindet (vgl. 4.1). Hier konnten auch erstmals konkrete Maße für die Zungenpfeife ermittelt werden, wenn auch nicht alle benötigten (aufgrund des hohen Alters und des nicht optimalen Erhaltungszustandes der Maschine sah sich der Leiter der Restaurierungswerkstatt des Deutschen Museums, Herr Franz Huber, außerstande, einer Demontage der Zungenpfeife, die zur Ermittlung sämtlicher Maße notwendig gewesen wäre, zuzustimmen. Zu einem früheren Zeitpunkt war die Sprechmaschine zwar vollständig demontiert und fotografisch dokumentiert worden, eine Vermessung war hierbei jedoch unterblieben.). Trotzdem blieben immer noch genug "Kleinigkeiten", bei denen kein Weg am bisweilen zeitraubenden und enervierenden "trial and error" vorbeiführte.

Schwierigkeiten bereiteten beim Saarbrücker Nachbau insbesondere die Zungenpfeife, der Mundtrichter sowie die Frikativgeneratoren. Hier bleibt Kempelen in seiner Beschreibung jeweils jegliche Maße und Detailangaben schuldig. Zwar sind die beigegebenen Zeichnungen vorgeblich maßstabsgetreu, doch zeigten sich hier beim Vergleich einzelner Zeichnungen untereinander bisweilen deutliche Abweichungen (vgl. Fußnote 16). Darüber hinaus konnte nicht eruiert werden, in wie weit die vorliegende Faksimile-Ausgabe des "Mechanismus" auch hinsichtlich des Formats und damit der Maße der Zeichnungen restlos vorbildgetreu ist.

Neben diesen Konstruktionsproblemen trat beim Bau und den häufigen Vorführungen der Saarbrücker Replik ein interessantes Phänomen zutage: sowohl der Autor als auch einige andere Personen, die den Sprechmaschinen-Nachbau bedienten, konnten dabei beobachtet werden, dass sie, während sie eine beliebige Äußerung synthetisierten, diese unbewusst stumm "mitsprachen". Zumindest dem Autor gelang (und gelingt) es trotz seiner Sensibilisierung hierfür und des festen Willens, es nicht zu tun, nur äußerst mühsam, diese Parallelartikulation zu unterbinden.

4.2.1 Die Zungenpfeife(n)

Für den Saarbrücker Nachbau konnte zunächst keine *Zungenpfeife* nach den Vorgaben Kempelens beschafft bzw. gebaut werden. Daher wurde ersatzweise auf ein modernes Exemplar, so wie es im zeitgenössischen Orgelbau Verwendung findet,

zurückgegriffen. Es wurde jedoch darauf geachtet, diese Pfeife so auszuwählen, dass deren Stimmtonhöhe mit der des (ersten) Nachbaues in Budapest (der eine Zungenpfeife nach Kempelens Vorgaben besitzt) weitgehend übereinstimmte (~240 Hz).²⁰

Diese *Zungenpfeife* ist jedoch in einigen nicht unerheblichen Details anders konstruiert als die von Kempelen im *Mechanismus* beschriebene: Sie besitzt ein konventionelles *Zungenblatt* aus dünnem Messingblech, das zudem nicht die von Kempelen angegebenen Proportionen besitzt, sondern erheblich schmaler ist. Auch für die *Kehle* konnte hier nicht, wie Kempelens Zeichnungen es andeuten, eine sog. *Französische Löffelkehle* verwendet werden. Stattdessen besitzt diese moderne Zungenpfeife eine *Deutsche Spitzkehle*, die ebenso wie das auf ihr liegende *Zungenblatt* erheblich schmaler als Kempelens Vorgaben und zudem leicht konisch ist. Dies führt zu einem vermutlich von Kempelens Intentionen abweichenden Klangergebnis (Schmalere Zungenblätter (die automatisch einer schmaleren Kehle bedürfen) bewirken einen helleren, leiseren und obertönigeren Klang als breite Zungenblätter gleicher Länge. Gleichzeitig sind schmale Zungenblätter etwas leichter in Schwingung zu versetzen als breitere.). Auch ist die *Kehle* dieser Zungenpfeife – wie bei modernen Orgel-Zungenpfeifen üblich – aber im Kontrast zu Kempelen – aus Messing anstatt aus Holz gefertigt.

Erst einige Zeit nach dem Kongress 2007, zu Beginn des Jahres 2008, konnte mit Hilfe der mechanischen Werkstatt des INM Saarbrücken eine *Zungenpfeife* (d.h. *Nuss*, *Kehle* und Nasensegment; aus einem Werkstück) aus Eichenholz hergestellt werden, deren Maße – soweit anhand des Münchener Exemplars ermittelbar bzw. aus Kempelens Zeichnung und Beschreibungen ableitbar – denen von Kempelens eigener Pfeife wohl recht nahe kommen. Für diese Pfeife wurden zunächst zwei *Zungenblätter* gefertigt, sowohl eines aus Elfenbein nach Kempelens Angaben wie auch eines aus Messingblech gleicher Stärke, die problemlos gegeneinander austauschbar sind. Ein weiteres Zungenblatt aus Rohr war projektiert, doch gelang es nicht, dieses Material adäquat zu bearbeiten, so dass ein brauchbares und beständiges Zungenblatt aus diesem Material zur Verfügung stünde. Auch ist diese neuere Pfeife jederzeit mit geringem Aufwand gegen die ursprüngliche, "moderne" auswechselbar.²¹ Für die moderne *Zungenpfeife* gelang es erst recht spät, im Laufe der Anfertigung dieser Arbeit, ebenfalls ein Zungenblatt aus Elfenbein zu fertigen. Dieses wurde – soweit noch möglich – ebenfalls zu akustischen Messungen herangezogen.

²⁰ Die Übereinstimmung wurde in Hinblick auf die ältere Zungenpfeife des Budapester Nachbaues angestrebt, da von der Erneuerung derselben dem Autor zu diesem Zeitpunkt noch nichts bekannt war.

²¹ Vgl. hierzu auch die Abbildungen der Saarbrücker Zungenpfeifen im Anhang 7.3, Abb. 35 und 36

Die breite Elfenbeinzunge wurde – wie durch von Kempelen im *Mechanismus* gefordert (Kempelen 1791a: 411) – auf ihrer Unterseite beletert. Bei beiden *Zungenpfeifen* wurde – wie ebenfalls von Kempelen beschrieben – zusätzlich die Oberseite der *Kehle* beletert. Während die letztere Art der Beleterung auch im Orgelbau üblich ist, stellt die Beleterung der Zungenblattunterseite ein Kuriosum dar. Gleichzeitig hebt der Dämpfungseffekt der Beleterung der Kehlenoberseite den theoretisch vorhandenen Einfluß des Kehlenmaterials auf den Klang der Zungenpfeife auf. (persönliche Mitteilung von Herrn OBM Stephan Mayer). Diese doppelte Beleterung sollte laut Kempelen der Dämpfung des an sich eher spröden Zungencharakters dienen (Kempelen 1791: 411). Nach Auskunft von Herrn OBM Stephan Mayer ist die Beleterung der Zungenpfeife, so wie sie Kempelen im *Mechanismus* beschreibt (Kempelen 1791a: 411) der Funktionsweise der Zungenpfeife allerdings eher abträglich.²² Versuche des Autors zeigten zudem, dass die Messingzungenblätter, wenn sie an ihrer Unterseite beletert werden, nicht mehr oder nur noch äußerst schwer in Schwingung zu versetzen sind. Daher wurden diese Zungenblätter unbeletert belassen. Alle vier Zungenblätter reagieren bereits auf relativ geringfügige Luftdruckschwankungen mit einer Veränderung ihrer Stimmtonhöhe, so dass mit der von Kempelen angegebenen Blasebalgkonstruktion eine konstante und stets gleiche F0 nur äußerst schwer zu erzeugen ist.

Wider Erwarten blieb die authentische *Zungenpfeife* – selbst mit dem breiten Elfenbeinblatt – in ihrer akustischen Wirkung zunächst weit hinter ihrem modernen Pendant zurück. Inwieweit hier als Ursache konstruktive Mängel verantwortlich gemacht werden können, steht bislang nicht fest. Möglicherweise hängen die mangelnden akustischen Qualitäten der (vermeintlich) authentischen Zungenpfeife auch mit den bislang unbekannten korrekten Maßen des Mundtrichters und der korrekten Konstruktion des Raumes zwischen Mundtrichter und Zungenpfeife zusammen. Hinzu kommen mögliche Auswirkungen der Windladenabmessungen (vgl. Kap 2.5.4.5).

Die durch Kempelen auf der Tab. XVIII (vgl. Tab. XVIII) seines *Mechanismus* wiedergegebene Konstruktion der Pfeife erwies sich in der Praxis als nicht ohne weiteres umsetzbar: die dort in Fig. 3 gezeigte großzügige Bohrung, die von der Kehle aus durch die Nuss führt, kann an der Mündung zur Kehle nur höchstens den halben Durchmesser wie an ihrem anderen, auf der Zeichnung sichtbaren Ende gehabt haben und scheint somit konisch gewesen zu sein, da sonst oberhalb der flachen Kehlenoberseite eine Öffnung entstanden wäre und damit die Funktionsfähigkeit der

²² "Stutzig macht mich, dass Kempelen die Zungenunterseite auch beletert!? Dass dann die Zunge überhaupt noch schwingt? Muss an Ihrem Material gelegen haben." (persönliche Mitteilung per eMail von Herrn OBM Stephan Mayer).

Zungenpfeife nicht mehr gegeben wäre (vgl. Abb. 13). Eine Auswertung von Fotografien des Sprechmaschinen-Exemplares in München zusammen mit Herrn Stefan Schmitz von der Mechanischen Werkstatt des Leibniz-Instituts für Neue Materialien gGmbH ergab einen ähnlichen Befund für diese Maschine. Auch hier scheint die Bohrung entweder konisch zu sein oder aber sich kurz vor den Mündung in die Kehle erheblich zu verengen. Die Anfertigung einer weiteren Zungenpfeife für die Saarbrücken Replik, die diesen Befund versucht in die Praxis umzusetzen, ist zur Zeit dieser Niederschrift projektiert.

Bei der zunächst hergestellten historisierenden Zungenpfeife des Saarbrücker Nachbaues wurde die Bohrung in Ermangelung anderer Lösungen soweit verengt, dass sie mit dem Innendurchmesser der Kehle identisch ist (vgl. Abb. 13 c). Die nur begrenzte Vielfalt an Vokalqualitäten, die mit diesem Nachbau möglich sind, könnte hierin ihre Ursache haben. Während mit dem Budapester Nachbau sieben durchaus überzeugende und kontrastive Vokalqualitäten erzeugt werden können, bringt es das Saarbrücker Exemplar bislang nur auf höchstens vier, die sich zudem allesamt qualitativ in einem Mittel- bis Hinterzungenbereich verorten lassen. Der laut Kempelen mögliche Vokal [i] kann mit dem Saarbrücker nicht und mit dem Budapester Nachbau nur isoliert erzeugt werden. Auch Liénard gelang mit seinem Nachbau die Synthese dieses Vokals nicht (Liénard 1968: 10). Über die genaue Konstruktion der Budapester Zungenpfeife(n) ist dem Autor nichts bekannt.

Wie bereits in Kap. 3.2.1.2 erwähnt, erscheint es aus heutiger Sicht als sicher, dass Kratzensteins Ansatz, *durchschlagende Zungenpfeifen* zu verwenden – ungeachtet des zugrundeliegenden grundsätzlichen Irrtums zur Stimmproduktion beim Menschen – für die "Stimmqualität" einer Sprachsynthesemaschine dieser Art durchaus von Vorteil wäre.

Um diese Feststellung auch experimentell zu belegen, sollte für den Saarbrücker Nachbau eine geeignete durchschlagende Zungenpfeife beschafft werden (ein Austausch der Pfeifen unterschiedlicher Konstruktionsweise wäre ohne weiteres möglich gewesen). Dem Autor war jedoch bewusst, dass dies nicht so einfach vonstattengehen würde, wie es bei der verwendeten *aufschlagenden Zungenpfeife* der Fall war. Anders als diese finden *durchschlagende* Exemplare im heutigen Orgelbau nur mehr sehr selten (nämlich bei der Restaurierung oder Rekonstruktion von Orgeln aus dem 19. Jahrhundert, die solche Pfeifen ursprünglich besessen hatten) Verwendung. Wo noch originale Pfeifen existieren, werden diese nicht ausgesondert, sondern aufwändig restauriert, Neuanfertigungen werden stets individuell konstruiert. Dies hat zur Folge, dass – anders als bei anderen Orgelpfeifen – es im Grunde nie

vorkommt, dass eine durchschlagende Zungenpfeife "übrig" bleibt und von einem Orgelbauer unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden kann.

Um dennoch eine solche Pfeife zu erhalten, wurden die wenigen in Deutschland existierenden Fachwerkstätten, die heute noch solche Pfeifen anfertigen, kontaktiert und unter Schilderung des Projektes um die Spende einer solchen Pfeife gebeten. Von den drei angeschriebenen Werkstätten erhielt der Autor nur von einer Antwort, diese mit dem Hinweis, dass man sich außerstande sehe, eine solche Zungenpfeife, die eigens zu diesem Zweck würde hergestellt werden müssen, unentgeltlich zur Verfügung zu stellen. Die faktischen Kosten für die Anfertigung einer solchen Pfeife hätten jedoch mehrere hundert Euro (sic!) betragen, daher wurde hiervon Abstand genommen.

Da eine eigenhändige Anfertigung aufgrund der dazu nötigten sehr hohen Fertigungsgenauigkeit nicht in Frage kam, blieb als zweite Möglichkeit nur die Verwendung von *Harmoniumzungen*. Beim Harmonium finden ebenfalls *durchschlagende Zungen* Verwendung, allerdings in einer stark vereinfachten Konstruktion ohne regelrechte *Kehle*, *Nuss* und *Resonator*. Stattdessen bestehen diese Zungen lediglich aus dem *Zungenblatt*, das in einem Metallrahmen schwingt, sehr ähnlich der Funktionsweise eines Akkordeons oder der Mundharmonika.

Um eine solche *Zunge* in der Sprechmaschine einsetzen zu können, musste eine Konstruktion gefunden werden, mithilfe derer diese problemlos mit der vorhandenen *Windlade* verwendet werden konnte. Zunächst wurde eine hierfür eingerichtete separate *Nuss*, die bis auf die fehlende *Kehle* baugleich mit der historisierenden Nuss ist, angefertigt (vgl. Abb. 36 im Anhang). Die anschließende Konstruktion einer Art *Kanzelle*, die für die *durchschlagende Zungenpfeife* die Aufgabe einer Kehle übernehmen sollte, gestaltete sich allerdings unerwartet schwierig. Nach mehreren gleichermaßen zeitaufwändigen wie erfolglosen Versuchen, eine der zur Verfügung stehenden durchschlagenden *Zungenpfeifen* damit zufriedenstellend zum Schwingen zu bringen, mussten diese ergebnislos abgebrochen werden.

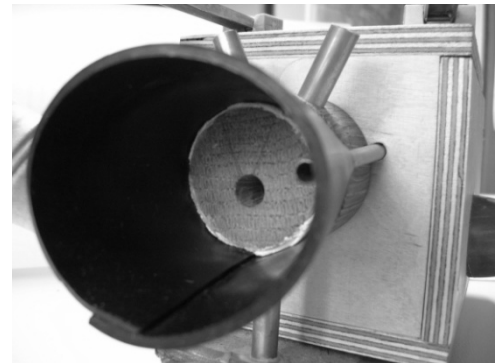
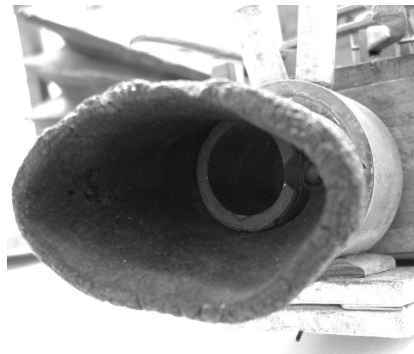
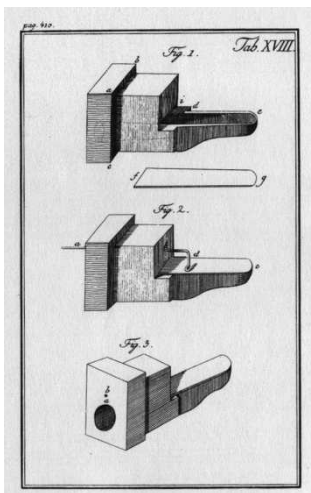


Abb. 13a-c. Die Bohrungen der Zungenpfeifen der Sprechmaschinen bei Kempelen (1791a), in München und Saarbrücken.

4.2.2 Prosodische Effekte

Kempelen beschreibt im *Mechanismus* die grundsätzliche Unfähigkeit seiner Maschine, während des "Sprechvorgangs" Veränderungen der Tonhöhe zu ermöglichen (Kempelen 1791a: 413). Zwar hatte er zur Abhilfe einen Mechanismus ersonnen, der sich auch in ähnlicher Form am Münchener Exemplar findet, doch hielt Kempelen diesen Mechanismus nach eigener Aussage nicht für zweckmäßig und beschrieb ihn daher nicht (Kempelen 1791a: 413 f.).

Auch die Konstrukteure späterer Nachbauten erwähnen grundsätzlich nicht, dass mit ihren Repliken Tonhöhenveränderungen möglich seien. Umso erstaunter war der Autor, als er an seiner Replik feststellen konnte, dass Tonhöhenveränderungen in begrenztem Maße durchaus möglich (bzw. sogar unumgänglich) sind und damit auch zumindest einfache prosodische Effekte: Durch eine Verstärkung des Drucks auf den Blasebalg steigt in diesem der Luftdruck, was direkt zu einem schnelleren Schwingen des Zungenblattes und damit zu einer geringfügigen Tonhöhenveränderung führt. Eine Verringerung des Drucks bewirkt folglich das Gegenteil. Die Kontrolle dieser Druckveränderungen bedarf einer gewissen Übung und insbesondere das Absinkenlassen der Tonhöhe gestaltet sich eher diffizil, da das Zungenblatt bei einem zu abrupten Druckabfall nicht mehr in Schwingung bleibt.

Diese tatsächlich nur geringfügigen Tonhöhenveränderungen korrelieren indes direkt mit der Intensität, d.h. ein Anstieg der Tonhöhe bedingt grundsätzlich einen Anstieg der Intensität und umgekehrt. Diese beiden Effekte sind nicht voneinander trennbar. Das dritte prosodische Element der Dauer lässt sich ebenfalls nur bedingt

von den anderen beiden separieren. Zwar ist eine Dauerveränderung ohne Veränderung von Intensität und Tonhöhe möglich, doch bedingt eine Tonhöhenveränderung in geringem Maße auch stets eine Erhöhung der Lautdauer. Dies gilt aus oben beschriebenem Grund insbesondere für ein Absinken der Tonhöhe bzw. der Lautstärke / Intensität. Alle drei für den Menschen gültige prosodische Faktoren sind demnach auch bei der *Sprechmaschine* vertreten, wenn auch in nur beschränkt frei einsetzbarer Art und Weise.

4.2.3 Windlade und Frikativgeneratoren

Eine zunächst nebensächlich erscheinende Abweichung des Saarbrücker Nachbaues vom im *Mechanismus* beschriebenen Vorbild stellte sich im Verlauf der Anfertigung dieser Arbeit als möglicherweise doch bedeutender heraus: Da über die exakten Dimensionierung der Frikativventile und des gesamten Zungenpfeifenkomplexes wie auch weiterer Elemente zunächst noch Unklarheit bestand, wurde die *Windlade* der Saarbrücker Replik zunächst bewusst erheblich größer konzeptioniert als von Kempelen in *Mechanismus* vorgegeben. Anstatt Innenmaße (!) von ca. 40x92x66 mm (HxBxT) zu erhalten (Kempelen 1791a: 415), wurde sie mit Abmessungen von 85x140x80 mm gebaut. Dies erwies sich zwar bei der experimentellen Vervollständigung der Sprechmaschine als überaus hilfreich, da alle Bauteile bequem zugänglich und dadurch rasch modifizierbar waren, scheint sich jedoch auf die Synthesequalität der Saarbrücker Replik nachteilig ausgewirkt haben.

Nach persönlicher Mitteilung von Gordon Ramsay, die durch Herrn OBM Stephan Mayer grundsätzlich bestätigt wurde, könnten die größeren Abmessungen zu Eigenresonanzen der Windlade führen, die die Zungenblattschwingungen dämpfen. Aus diesem Grunde wurde während der Niederschrift dieser Arbeit eine neue, in (vermutetem) Material und Abmessungen weitestgehend an Kempelen angenäherte Windlade gebaut (vgl. die baugleiche Windlade Abb. 40 im Anhang).

Neben diesem offenbar doch recht zentralen Konstruktionsproblem zeigte sich im Laufe der Arbeiten auch, dass Kempelens Beschreibung des /s/-Generators dessen Konstruktion nur in eher vagen Grundzügen schildert. Die Unklarheit über diese Einrichtung wird in der rezeptiven Literatur noch verstärkt: laut Nikléczy & Olaszy dient sie für "[f]-like sounds" (Nikléczy & Olaszy 2004: 115; vgl. auch Nickéczy & Olaszy 2003: 2454). Auch auf direkte Nachfrage teilte Prof. Olaszy mit: "As we know from the original book (1791), Kempelen's machine had no /s/ generator, only /sh/." (Mail vom 15. 11. 2007 an den Autor) Im Reprint der deutschen Ausgabe des *Mechanismus* ist allerdings eindeutig von "S und SCH" die Rede (Kempelen 1791a:

418), die Interpretation als /f/ scheint auf einem Lesefehler der betreffenden Beschriftung der Tab. XXV zu beruhen. Nach zahlreichen Fehlversuchen mit unterschiedlichen Konstruktionsvarianten und Materialien konnte schließlich anhand von Kempelens Beschreibung zwar ein Ergebnis erzielt werden, das aber bislang in seiner klanglichen Authentizität noch zu wünschen übrig lässt. Das im deutschen Museum München erhaltene Exemplar der Sprechmaschine weist just bei diesem Frikativgenerator eine von der Beschreibung im "Mechanismus" vollkommen abweichende Konstruktion auf. Aufgrund des nicht optimalen Erhaltungszustandes der Maschine konnten allerdings Konstruktion und akustisches Ergebnis nicht überprüft werden.

Weitere noch unbefriedigende Teilergebnisse sind vermutlich zum Teil auch auf mangelnde Bedienungserfahrung zurückzuführen. So gelang es dem Autor bislang nicht, mit der Maschine ein [l] zu produzieren. Prof. Dr. Hartmut Trautmüller (Universität Stockholm) demonstrierte aber anlässlich der XVI. ICPhS 2007, dass dies auch mit dem Saarbrücker Nachbau grundsätzlich möglich ist.

Im Laufe der Anfertigung dieser Arbeit hatte sich beim Autor durch Korrespondenzen und Auswertung einiger Experimente zunehmend der Verdacht erhärtet, dass die seinerzeit bewusst größer dimensionierte Windlade des Saarbrücker Nachbaues mitverantwortlich sein könnte für die damit erzielten tendenziell eher unbefriedigenden Synthesergebnisse. Daher wurde eine Neukonstruktion konzipiert, deren Maße sich unmittelbar an den im *Mechanismus* mitgeteilten orientierten. Als Material wurde nach dem Vorbild der Maschine im Deutschen Museum Nussholz gewählt, während die erste Windlade seinerzeit aus praktischen und finanziellen Gründen aus Schichtholz hergestellt worden war. Die Stärke der Bretter (8 mm) entspricht ebenfalls dem Münchener Vorbild, ist zugleich aber identisch mit derjenigen der ersten Saarbrücker Windlade. Die Öffnung der neuen Windlade zur Aufnahme der Zungenpfeife wurde jedoch abweichend von den Beschreibungen so konzipiert, dass beide Zungenpfeifen aus der alten Windlade auch hiermit verwendbar sind.²³

Bereits erste Klangproben mit der historisierenden Zungenpfeife und dem älteren breiten Elfenbeinzungenblatt und deren Analyse zeigten, dass Dimensionierung und Material der Windlade ganz offenbar tatsächlich erheblichen Einfluss auf die Synthesequalität haben. Diese bekommt einen wesentlich klareren, weniger rauhen und dafür helleren Klang. Auch anhand der Spektrogramme beider Realisierungen kann ein deutlicher Unterschied beobachtet werden. (vgl. Abb. 14 a+b). Es zeigte sich

²³ Auch die *Nuss* der Zungenpfeife des Münchener Exemplares besitzt nicht den im *Mechanismus* gezeigten rechteckigen Querschnitt, sondern einen runden, so wie die beim Saarbrücker Nachbau verwendeten *Nüsse* auch.

zudem, dass der Luftverbrauch der einzelnen Zungenblätter mit der neuen Windlade erheblich geringer ist. Beispielsweise konnte ein gehaltener Vokal /a/ bei Verwendung des historisierenden breiten Elfenbeinzungenblatts mit der alten Windlade 7,39 Sekunden ausgehalten werden, mit der neuen stieg dieser Wert auf 20,56 Sekunden an!

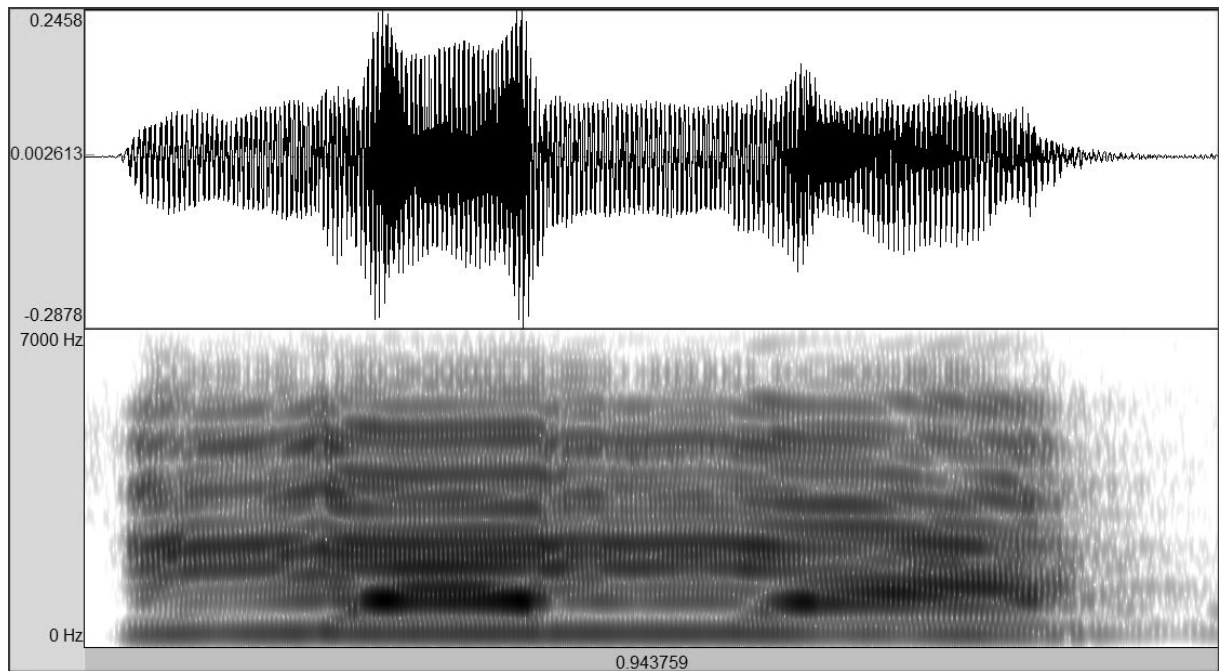


Abb. 14a. /mama/-Realisierung der Sprechmaschine mit breiter Elfenbeinzunge und älterer Windlade (Zeitangabe in ms).

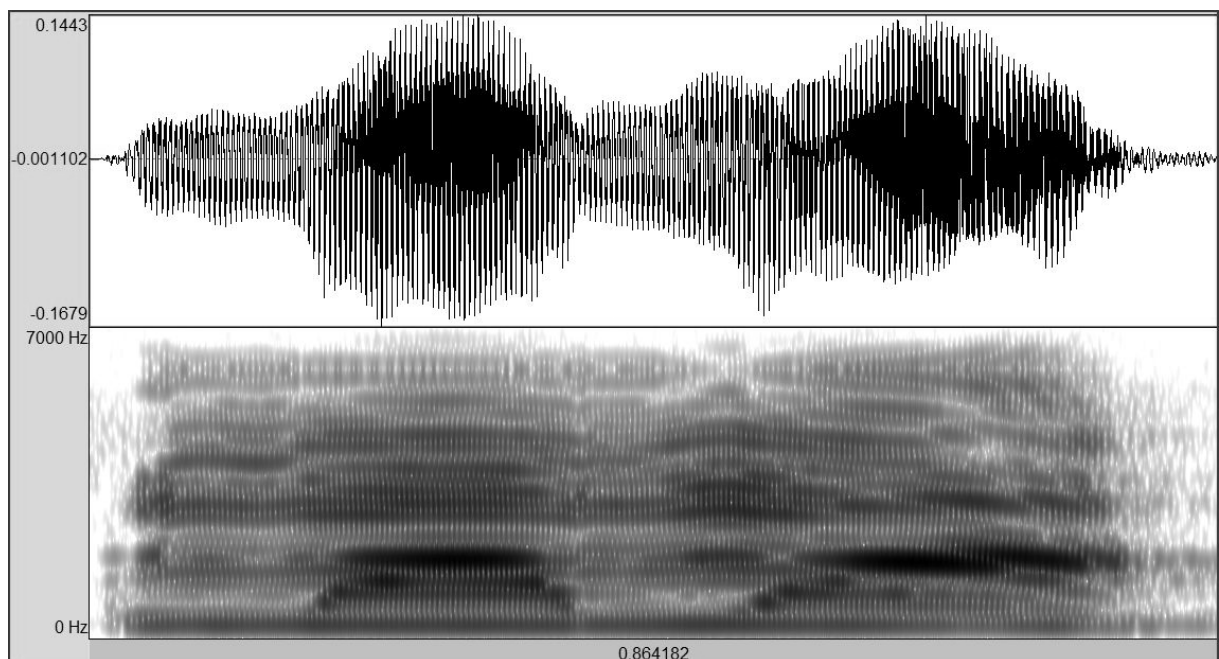


Abb. 14b. /mama/-Realisierung der Sprechmaschine mit breiter Elfenbeinzunge und neuerer Windlade (Zeitangabe in ms).

4.2.4 Konstruktion des Blasebalgs

Um die Schwierigkeiten bei der Erlangung halbwegs objektiven Analysematerials zumindest abzuschwächen, wurde vom Autor eine Konstruktion angefertigt, mithilfe derer ein zuvor exakt dosiertes Gewicht auf die Balgplatte aufgesetzt werden kann und somit den Part des rechten Ellenbogens des Spielers übernimmt. Grundannahme hierbei war, dass aufgrund des fixen Gewichtes ein stets gleichbleibender kinematischer Druck auf den Blasebalg ausgeübt wird, der seinerseits einen gleichbleibenden Luftdruck im Inneren des Balges erzeugen müsste.

Bereits erste Versuche mit diesem Aufbau zeigten jedoch, dass dem nicht so ist. Ein gleichbleibender kinematischer Druck auf den Blasebalg hat keinen gleichbleibenden Luftdruck in dessen Innern zur Folge, dieser fällt stattdessen stetig ab, je weiter sich der Blasebalg schließt. Der Klang der Zungenpfeife verliert folglich kontinuierlich an Intensität und auch die F_0 sinkt ab. Ab einem bestimmten Punkt ist der Druck schließlich so niedrig, dass die Zunge nicht mehr ansprechen kann (vgl. Tabelle 2).

Weiterhin ließ sich beobachten, dass das Volumen des Blasebalges nie voll ausgeschöpft werden kann, ohne eine erhebliche Klangveränderung zu erhalten: Ist der Balg etwa zur Hälfte bis zwei Dritteln geleert, fällt trotz gleichbleibend ausgeübtem Druck auf die Balgplatte der Luftdruck im Inneren des Balges rapide ab (vgl. Abb. 15).

Tabelle 2. Messungen mit verschiedenen Balggewichten (je 10 Durchgänge, Angaben zur Dauer in Millisekunden und Standardabweichung).

Aufliegendes Balggewicht	Gesamtdauer :		Druckabfall nach:		Anregungs- dauer ²⁴ :	
	Ø	SD	Ø	SD	Ø	SD
1000g	11050	849	2069	592	3713	589
1250g	8264	476	2897	43	6214	550
1500g	7160	454	3046	956	6151	484

Dieses Phänomen verstärkt sich, je höher der auf den Balg ausgeübte kinematische Druck ist. Eine gewisse Unregelmäßigkeit im Druckverhalten dieser als *Keilbalg* bezeichnete Bauart von Blasebälgen war bereits aus der orgelbaulichen Fachliteratur bekannt und wurde auch dem Autor gegenüber bestätigt: "In der Tat ist es so, dass sich der Druck beim Schöpfen verändert. Sie können den Einfluss der Faltenstellung im

²⁴ Anregungsdauer = Zeitrahmen, in dem das Zungenblatt vibriert. Die danach noch durchströmende Luft hat nicht mehr genug Energie, um das Zungenblatt noch in Schwingung zu versetzen.

Balg, etc. nicht so feinfühlig mit der Hand korrigieren." (OBM Stephan Mayer in einer Mail vom 04. 11. 2008 an den Autor, vgl. auch Klotz 1965: 14 sowie Busch und Geuting 2007: 76)

Um den oben beschriebenen zunächst nur auditiven Eindruck zu untermauern, wurden akustische Messungen mit drei verschiedenen großen Gewichten (1000²⁵, 1250 und 1500 Gramm) auf der Balgplatte durchgeführt. Das Gewicht, das – wie von Kempelen vorgesehen – den Balg wieder aufzieht und also quasi als Antagonist zum rechten Ellenbogen des Spielers wirkt, blieb hierbei mit 810 Gramm stets gleich. Verwendet wurde für diese Messungen grundsätzlich die historisierende Zungenpfeife mit dem breiten Elfenbeinzungenblatt. Die Aufnahmen wurden mit einem Shure SM48-Mikrofon via praat (www.praat.org) direkt auf dem Laptop aufgezeichnet und mit 22050 Hz gesampelt. Das Mikrofon wurde hierbei senkrecht bei geöffnetem Außenkasten auf Höhe des Kastenrandes über der Mundtrichtermündung platziert. Hierbei zeigte sich, dass bereits kleine Veränderungen an dieser Positionierung (bspw. durch mehrere Aufnahmesitzungen) erhebliche Auswirkungen auf die Güte der Aufnahmen haben. Je Gewicht wurden zehn Messungen durchgeführt und hieraus Durchschnittswert und Standardabweichung ermittelt.

Die Messergebnisse laufen zunächst den in der Orgelbauliteratur beschriebenen Eigenschaften diametral entgegen. Adelung beispielsweise schreibt explizit:

"Der Winddruck [FB: Luftdruck] ist bei einem Keilbalg nicht völlig gleich hoch, sondern ist von dem Aufgangswinkel der Oberplatte abhängig. Dies ist bedingt durch die einseitige Öffnung des Keilbalges, bei dem das [...] Oberplattenende eine kreisförmige Drehung vornimmt. Bei genau waagerechter Stellung der Oberplatte drückt das Gewicht unmittelbar senkrecht die Platte am stärksten nach unten, weil die Schwerkraft der Erde das Gewicht unmittelbar senkrecht anzieht. Je mehr sich die Oberplatte nach oben hebt (dreht), um so geringer drückt das Gewicht direkt auf die Oberplatte" (Adelung 2003: 124)²⁶

²⁵ Bei einem niedrigeren aufgelegten Gewicht ist der im Balg erzeugte Luftdruck nicht hoch genug, um die Zungenpfeife ansprechen zu lassen.

²⁶ Im Orgelbau ging man aus diesem Grund ab dem 19. Jahrhundert dazu über, sog. *Parallelbälge* zu verwenden, die die Form eines Parallelogramms besitzen und hierdurch einen weitestgehend gleichmäßigen Luftdruck zu erzeugen vermögen. (vgl. Klotz 1965: 14)

Ein Gespräch mit Herrn OBM Stephan Mayer half diesen scheinbaren Widerspruch jedoch aufzulösen: Das in der Literatur beschriebene Phänomen gilt ausschließlich für *einfaltige Keilbälge*. Bei solchen Keilbälgen mit mehreren Falten (vgl. Abb. 16) – der für den Saarbrücker Nachbau verwendete besitzt drei – kehrt sich das Phänomen um: Da sich bei einem mehrfaltigen Keilbalg nicht alle Falten gleichmäßig und gleichzeitig schließen, sondern sich die einzelnen Falten sukzessive nacheinander von unten nach oben schließen, nimmt mit zunehmendem Schließungsgrad des Balges das auf die im Balg befindliche Luft wirkende Gewicht stetig ab. Die Falten eines *Keilbalgs* sind auf ihrer Innenseite mit dünnen Brettchen, den sog. *Spänen*, verstärkt (daher auch der alternative Name *Spanbalg*), die ein niedriges, aber gleichwohl relevantes Eigengewicht besitzen. Je mehr Falten ein solcher Spanbalg besitzt, desto stärker fällt der erzeugte Luftdruck im Laufe des Schließungsvorgangs ab. Bei dem für den Saarbrücker Nachbau verwendeten Balg kommt erschwerend hinzu, dass die Falten in Relation zu den Ausmaßen des Balges verhältnismäßig tief sind, mit zunehmendem Schließungsgrad des Balges also zum wirkenden Balggewicht auch das Innenvolumen des Balges rapide abnimmt.

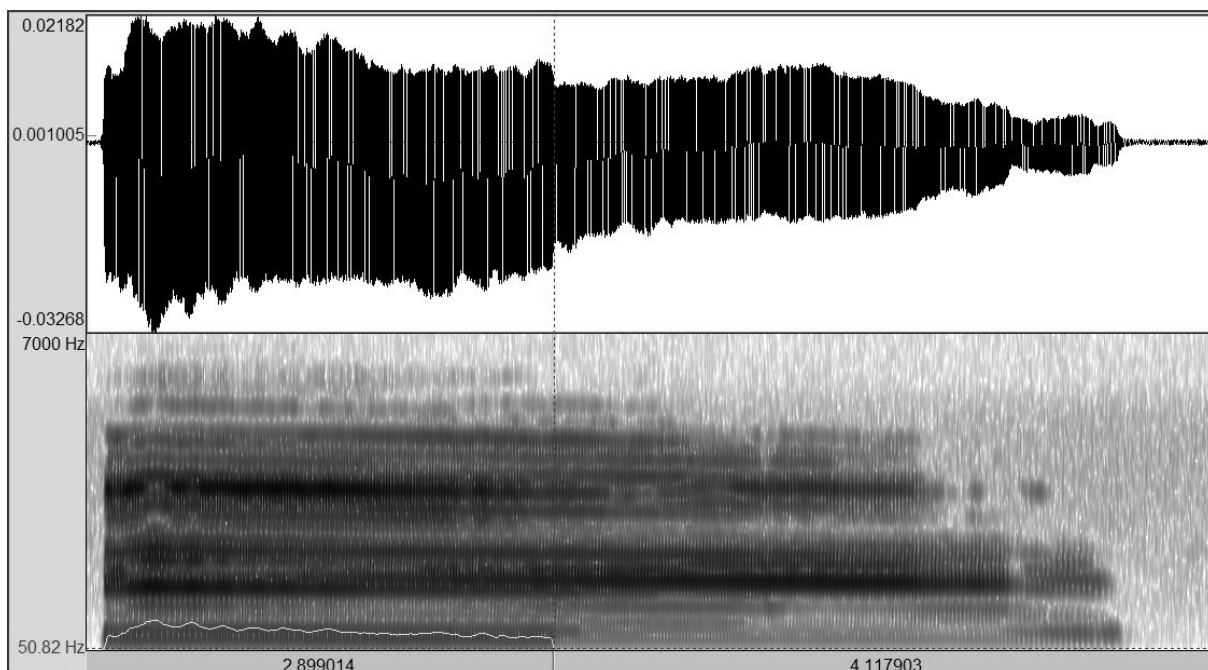


Abb. 15. Oszillogramm, Spektrogramm und Intensität für /a/ bei 1250g Balggewicht (breite Elfenbeinzunge). Die gestrichelte vertikale Linie kennzeichnet den Zeitpunkt des abrupten Einbrechens der Intensität (Zeitangabe in ms).

Diese beiden Phänomene zusammengekommen sind laut Herrn OBM Mayer verantwortlich für den beobachteten Druckabfall des Blasebalges. Ein *Spanbalg* mit weniger und flacheren Falten würde seiner Auskunft nach den Druckabfall erheblich

vermindern. Der hier beschriebene Druckabfall im Blasebalg während des Schließungsvorganges stellt jedoch ein recht genaues Analogon zur Deklination beim menschlichen Sprechvorgang dar. Auch dort nimmt der Luftdruck mit zunehmender Leerung der Lungen ab, was zu einem Absinken von Intensität und F_0 im Verlauf des Phonationsvorganges führt. Sinkt der subglottale Luftdruck unter ein bestimmtes Maß, so ist auch beim Menschen keine Phonation mehr möglich.

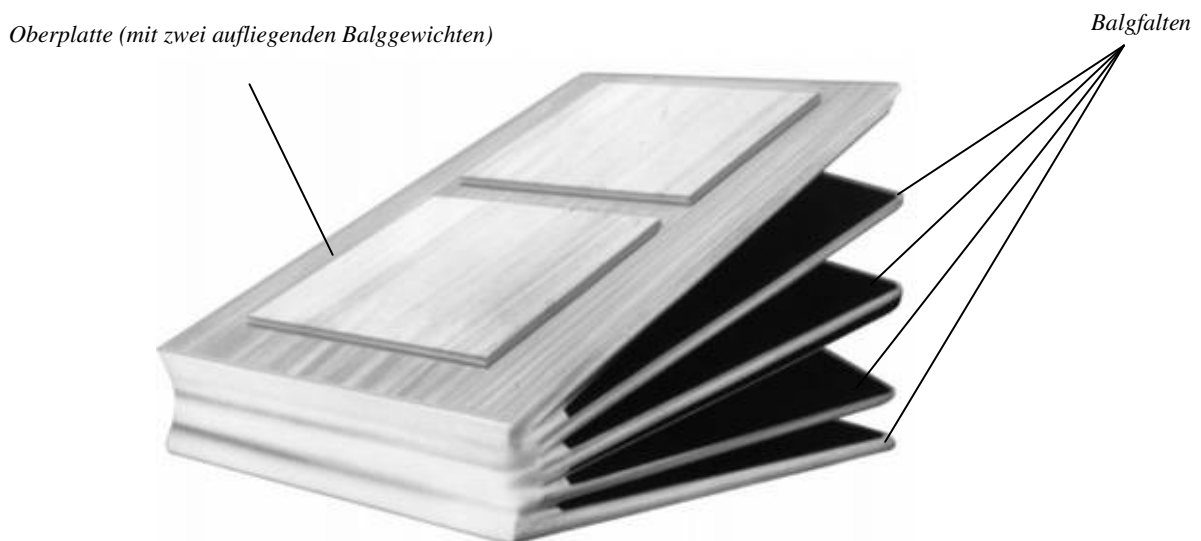


Abb. 16. Beispiel eines Spanbalges mit vier Falten (<http://www.kollegiorgel.ch>).

5. Diskussion

Wolfgang von Kempelen kommt das Verdienst zu, die Funktion der artikulatorischen Organe, die Dreiteilung des Spracherzeugungsmechanismus (Luftgenerator, Stimmgenerator und Artikulator) und auch – indirekt – die daraus resultierenden akustischen Zusammenhänge recht klar erkannt zu haben.

Dem dritten Entwurf Wolfgang von Kempelens zu einer Sprachsynthesemaschine, seiner sog. *Sprechmaschine*, kann zweifelsohne der erste Platz unter den das Ansatzrohr simulierenden Sprechmaschinen zugesprochen werden, obgleich er dieses Konzept letztendlich nicht konsequent vertrat (Köster 1972: 121). Insbesondere mit der Feststellung, dass die (heute so genannte) *Koartikulation* ein Faktor von nicht zu unterschätzender Relevanz im menschlichen Artikulationsvorgang und damit auch in dessen Simulation ist, gelangte Kempelen zu einer weitreichenden Erkenntnis.

Allerdings saß auch Kempelen einigen (mitunter grundsätzlichen) Irrtümern auf: Seine Auffassung der menschlichen Glottis als *membranöse Pfeife* war eine völlige Fehlinterpretation, die Kempelen allerdings bei der Konzeption seiner *Sprechmaschine* nicht umsetzte. Dies könnte jedoch auch den technischen Limitationen geschuldet sein, da Kempelen in keinem seiner Modelle je eine solche Konstruktion anwendete, sondern auf das bereits bewährte Konzept der *Lingualpfeife* zurückgriff. Somit modellierte Kempelen unwissentlich den menschlichen Stimmapparat teils naturgetreuer und (wohl weniger unwissentlich) teils fern eines Naturanalogons. Bemerkenswert ist hierbei, dass Kempelen nicht auch nur eines der im physiologischen Teil des *Mechanismus* aus den beobachteten artikulatorischen Gegebenheiten entwickelten Modelle in einer der drei Versionen der Sprechmaschine anwendete (Köster 1972: 121 f.).

Zu den "artikulatorischen" Schwächen der Sprechmaschine ist zu sagen, dass durch die Anlage des Mundäquivalents als weit geöffnetem Trichter ohne Entsprechungen für Lippen, Zähne, Zunge, Velum und Uvula die Auswahl an möglichen synthetisierbaren Lauten stark eingeschränkt wird. Strenggenommen sind nur die Laute [a] und [m] in guter Qualität (und weitestgehend "vorbildgetreu") synthetisierbar. Die Konsonanten [p] bzw. [b], [l], [m], [f], [r] und [h] sind nur als bedingt selbständige Lautproduktionen möglich, da zu ihrer Synthese jeweils Ersatzartikulationen notwendig sind. Die Laute [n] und [v] sind von [m] bzw. [f] nur marginal verschieden und können daher nicht als vollgültig synthetisierbar gelten, die Erzeugung dieser vier Lautqualitäten ist jedoch ohnehin recht fragwürdig (vgl. Köster 1972: 124). Da die Frikative [ʃ] und [s] (bzw. [f]) nicht mit dem Mundtrichter produziert werden, sondern über externe Generatoren, verbinden sie sich nur schlecht mit dem lautlichen Kontext. Bei den Vokalen ist lediglich das [a] eindeutig produzierbar, während die übrigen Vokalqualitäten nur im Kontext "erkennbar" werden.

Dank Wolfgang von Kempelens eigener ausführlicher Beschreibung seiner *Sprechmaschine* und einer sicher auch durch ihn selbst mit initiierten bemerkenswert lebhaften zeitgenössischen Berichterstattung können wir uns heute ein recht genaues Bild seiner Synthesemaschine machen. Ihre grundsätzliche Funktionsweise ist bekannt und kann problemlos nachvollzogen werden. Durch eine ganze Anzahl bislang entstandener Nachschöpfungen der Kempelenschen Konstruktion – teils eng an seinen Beschreibungen orientiert, teils über diese hinausgehend – kann seine Arbeit heute zudem gut veranschaulicht werden.

Der scheinbar umfassenden Beschreibung seiner endgültigen Sprechmaschine zum Trotz bestehen bis zum heutigen Tag allerdings erhebliche Unklarheiten über

zahlreiche (zentrale) konstruktive Details und nicht zuletzt auch über die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Kempelen-Synthese. Die entgegen der Versicherungen Kempelens mitunter sehr vagen Beschreibungen einzelner Maschinenteile in Wort wie im Bild sind hier ein zentraler Problempunkt. Kempelen zufolge sind manche mit seiner Konstruktion synthetisierbaren Laute oder Lautfolgen sind auf den Nachschöpfungen häufig nicht darstellbar. Des Weiteren ist die Diskrepanz zwischen (objektiv) mäßiger Synthesequalität und Lautrepertoire der Nachbauten und den (subjektiven) überschwänglichen zeitgenössischen Beschreibungen der originalen Apparatur auffällig.

Von Kempelens Arbeiten zur menschlichen Stimme und Sprachproduktion waren ein entscheidender Fortschritt in der Sprachforschung seiner Zeit, die noch allzu oft geradezu bizarren anatomischen Vorstellungen anhing. Doch auch Kempelen war vor Irrtümern und Fehlschlägen nicht gefeit, wie beispielsweise seine Auffassung der Glottis als *membranöse Pfeife* zeigt. Doch ist zu bedenken, dass Kempelen und seinen Zeitgenossen oft schlicht die Instrumentarien fehlten, mit deren Hilfe sie exakte anatomische und erst recht artikulatorische Beobachtungen in vivo hätten machen können. Vor diesem Hintergrund erscheint Kempelens Leistung – insbesondere auch in Kontrast zu der des Medizindozenten Kratzenstein – doch als sehr beachtlich.

Die *Sprechmaschine* setzte im späten des 18. Jahrhunderts Maßstäbe, wurde doch mit ihr erstmals ernsthaft versucht, eine Sprachsynthese zu entwickeln, die nicht nur einzelne menschliche Sprachlaute synthetisiert, sondern ganze Lautfolgen und dies bei dem gleichzeitigen Versuch, die menschlichen Anatomie und Artikulation so authentisch als möglich nachzubilden. Kempelen war augenscheinlich von seinem Konzept zutiefst überzeugt und wähnte sich auf dem grundsätzlich richtigen Weg, um alle Laute der Welt (von deren tatsächlicher Mannigfaltigkeit er offenbar nur einen höchst vagen und "eurozentristischen" Begriff hatte) nunmehr synthetisch in authentischer Manier und Qualität produzieren zu können. Dass Kempelen mit diesem Projekt letztlich scheitern musste, ist aus heutiger Sicht völlig offensichtlich. Denn so revolutionär sein Ansatz zur Sprachsynthese auch war und so vielversprechend die Anfänge waren, so sicher ist auch der Rückschau auch, dass Kempelens Konzept nicht ausgereift war. Seine Modellierung von Lunge, Larynx mit Glottis, offenem Mundraum und Nasenraum erlaubt zwar die mitunter sehr authentische Realisierung der Laute /a/ und /m/ (sowie grundsätzlich auch eines bilabialen Plosivs), doch insbesondere das Fehlen des Artikulators Zunge, aber auch im Grunde sämtlicher Artikulationsstellen, erlauben es nicht, mehr als diese drei Laute authentisch zu modellieren.

Hinzu kommt anscheinend eine zeittypische Beeinflussung durch die damals unternommenen Versuche rund um das Orgelregister *Vox humana*, deren Faszination sich offenbar selbst eine derart aufgeklärte Natur wie Kempelen nicht völlig entziehen konnte. Auch die der damaligen Berichterstattung zeigt sich nicht unbeeindruckt von diesem offenbar allgemein bekannten Faszinosum (vgl. z. B. Hindenburg 1784: 54).

Es muss allerdings auch bezweifelt werden, dass es zu Kempelens Lebzeiten schon allein aus rein material- und fertigungstechnischen Gründen möglich gewesen wäre, ein derart komplexes und bewegliches Organ wie die menschliche Zunge befriedigend so nachzubauen, dass sie auch für Kempelens Zwecke einsetzbar gewesen wäre. Der von Kempelen im "Mechanismus" aufgezeigte Lösungsvorschlag (vgl. tab. XXVI), kann nur durch eine völlige Ratlosigkeit erklärt werden, denn es ist höchst unwahrscheinlich, dass Kempelen bei seiner tiefen Einsicht in die menschliche Anatomie allen Ernstes diese starre Holzkonstruktion für eine adäquate Lösung des Problems hielt. Zugleich hätte die Steuerung eines Zungenäquivalents auch eine grundlegende Neukonzeption des "Vokaltrakts" und nicht zuletzt der ohnehin schon diffizilen Steuerung der Sprechmaschine zur Folge haben müssen.

Das faktische Lautinventar der Sprechmaschine ist sehr begrenzt. Einige wenige Laute (genau genommen drei) sind auditiv weitestgehend (und in etwas geringerem Maße auch artikulatorisch) zufriedenstellend synthetisierbar, eine Anzahl weiterer Laute – insbesondere Vokalqualitäten und Plosive – sind mit der Sprechmaschine nur quasi sekundär simuliert- bzw. imitierbar. Doch bewegt sich diese Form von Synthese bereits auf einem völlig anderen, realitätsferneren Niveau, ganz zu schweigen von Kempelens "Lösung" zur Realisierung von Frikativen.

Die mit dem Saarbrücker Nachbau bislang darstellbaren Laute sind wie folgt in Abb. 17 zu sehen:²⁷

	Bilabial	Labiodental	Dental	Alveolar	Postalveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Glottal
Plosive	p b										
Nasale	m										
Trills											
Tap oder Flap											
Frikative		f v		s z	ʃ ʒ						h
Lateral-Frikative											
Approximanten											
Lateral-Approximanten				l							

Abb. 17a. Die mit dem Saarbrücker Nachbau darstellbaren Konsonanten.

²⁷ Insbesondere die vorderen und geschlossenen Vokale erfordern einiges an Geduld und hohes Geschick.

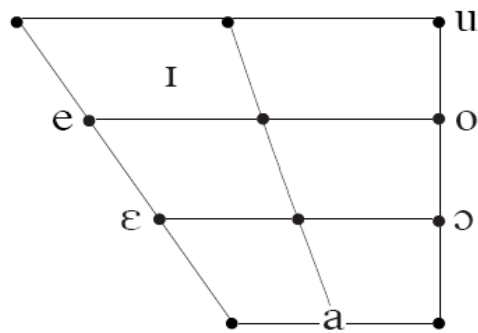


Abb. 17b. Die mit dem Saarbrücker Nachbau darstellbaren Vokalqualitäten.

Der Ansatz, zur Verstärkung der Plosion bei Verschlusslauten ein zusätzliches unter Spannung stehendes Luftreservoir an den Mund anzuschließen, zeigt, dass Kempelen die grundsätzliche Natur von Plosivlauten zwar durchdrungen hatte; allerdings bewirkt seine Konstruktion im Endeffekt das Gegenteil dessen, was er zu erreichen hoffte. Anstatt klare stimmlose bilabiale Plosive zu erhalten, synthetisiert die Maschine mit dieser Vorrichtung eindeutig stimmhafte! Kempelen beschreibt dieses Phänomen leider nicht im *Mechanismus*, doch erscheint es aufgrund seiner in dieser Hinsicht hinreichend genauen Konstruktionsbeschreibung als sicher, dass auch mit seiner eigenen Maschine das Syntheseresultat kein anderes war. Einzig die Kraft der hier verwendeten Feder könnte möglicherweise ein graduell anderes Syntheseresultat bewirken, doch ist hier die Gefahr groß, durch eher geringfügige Verstärkung den Balg außer Funktion zu setzen.

Vor dem Hintergrund dieses Befundes erstaunen die zeitgenössischen Erlebnisberichte über Vorführungen der Kempelenschen *Sprechmaschine* umso mehr. Jedoch legen kritische Lektüre der Berichte und eigene Untersuchungen nahe, dass in Kempelens Vorführungen psychologische Faktoren wie Autosuggestion und nicht zuletzt auch das Wohlwollen (bzw. die positive Erwartungshaltung) der Zuhörerschaft eine ganz erhebliche Rolle spielten.

Die eigenhändige Anfertigung einer Replik der *Sprechmaschine* erbrachte zwei wichtige Erkenntnisse: Zum einen, dass Kempelens nach eigener Aussage detaillierten Angaben zur Konstruktion in vielen Fällen höchst unpräzise bis vage sind. Es stellt sich hier die Frage, wie diese Ungenauigkeiten zu erklären sind. Möglich erscheint, dass Kempelen entgegen seiner eigenen Aussage die Konstruktion seiner Erfindung doch nicht vollständig offenlegen wollte, um sich vielleicht möglicher Konkurrenz zu erwehren. Die andere – vor dem Hintergrund von Kempelens höchst gründlicher und systematischer Arbeitsweise eher unwahrscheinliche – Erklärung wäre, dass er

manchen genaueren Angaben und Maßen schlicht keine entscheidende Bedeutung beimaß.

In jedem Falle aber führte dieser Umstand dazu, dass – nicht nur in Saarbrücken – der zunächst als unproblematisch angesehene Nachbau der Sprechmaschine sich peu à peu als ein doch recht zeitaufwändiges Unterfangen herausstellte, bei dem viele Detailfragen letztlich auf experimentellem Wege geklärt werden mussten. Als Beispiel seien hier für den Saarbrücker Nachbau die bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht zufriedenstellend gelösten Fragen nach der Konstruktion des /s/-Generators und vor allem der Zungenpfeife genannt. Es ist gerade im letzten Fall auffällig, wie penibel Kempelen auf eher nebensächliche Detailfragen der Fertigung eingeht (wie zum Beispiel die optimale Technik zum Beledern des *Kehlenrandes*), den ganz zentralen Punkt der Dimensionierung der Kehle und der dazugehörigen Bohrung aber höchst beiläufig und oberflächlich abhandelt.

Aufgrund der Ungenauigkeit bzw. Dürftigkeit solch fundamental wichtiger Angaben für den zufriedenstellenden Nachbau der *Sprechmaschine* lässt sich die Saarbrücker Replik zum jetzigen Zeitpunkt nicht als fertiggestellt ansehen, sondern muss als "work in progress" bezeichnet werden.

Ohnehin birgt die *Sprechmaschine* noch viel "Stoff" für künftige Untersuchungen. So wäre es beispielsweise durchaus interessant zu erfahren, ob ein Ersatz der *Zungenpfeife* durch ein Konstrukt mit einem Doppelrohrblatt (das Kempelen ja in seinem ersten Prototyp auch verwendete und das ein deutlich stimmigeres Analogon für die menschlichen Stimmlippen wäre) grundsätzlich praktikabel wäre und die "Stimmqualität" der Maschine merklich verändern würde. Vorbereitungen für eine entsprechende Versuchsreihe mit der Saarbrücker Replik wurden vom Autor getroffen, es gelang allerdings bislang nicht, ein übliches Doppelrohrblatt entsprechend zu bearbeiten, so dass es mit den vorhandenen *Zungenpfeifen* kompatibel wäre. Ebenso interessant wäre eine Erforschung unterschiedlicher Zungenblattmaterialien auf den Klang der *Sprechmaschine*.

Nicht zuletzt erwies sich auch durch Perzeptionsexperimente (vgl. Brackhane & Trouvain 2008), dass ganz offenbar bereits kleine und zunächst als nicht maßgeblich betrachtete Änderungen an der Konstruktion der *Sprechmaschine* ganz erhebliche Auswirkungen auf deren Synthesequalität haben können.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass artikulatorische Sprachsynthese in Form experimenteller dreidimensionaler Nachbauten des menschlichen Vokaltraktes keineswegs nur ein Steckenpferd des erfindungsfreudigen achtzehnten und vielleicht auch des neunzehnten Jahrhunderts gewesen ist. Auch gegenwärtig

werden ernsthafte Versuche unternommen, den Sprechapparat des Menschen so weit irgend möglich ganz oder in Teilen funktionstüchtig nachzubilden. Exemplarisch seien hier nur die "Talking Robots" von Kotaro Fukui et al. (2008), die bereits erwähnten Frikativsynthesen von Shadle et al. (Shadle et al. 2008) sowie der "Vokaltrakt zum Selber- bauen" von Mark Huckvale (Huckvale 2009) genannt.

Danksagung

Dass diese Arbeit entstehen konnte, verdanke ich einer ganzen Anzahl von Personen, denen ich an dieser Stelle von Herzen danken möchte.

Zunächst Herrn Dr. Jürgen Trouvain vom Institut für Phonetik an der Universität des Saarlandes, der mich überhaupt erst auf die *Sprechmaschine* Wolfgang von Kempelens aufmerksam gemacht und angeregt hat, diese nach Kempelens eigener Beschreibung nachzubauen. Die Arbeit der vergangenen zwei Jahre wäre ohne seine Hilfe, Vermittlung und bisweilen erhellend "naive" Fragestellungen zu keinem glücklichen Ende gelangt. Ihm verdanke ich auch zahlreiche konstruktive Besprechungen, die mir meine stetig wachsende Begeisterung für das Thema kanalisieren und strukturieren halfen und nicht zuletzt eine stetige und intensive Förderung meiner Forschungen.

Gleichermaßen herzlich zu danken habe ich Herrn Prof. Dr. William J. Barry, ebenfalls vom Institut für Phonetik an der Universität des Saarlandes, der mich von Beginn an gleichermaßen wohlwollend und großzügig bei meinen Forschungsarbeiten unterstützt und beim Konzipieren und Schreiben der diesem Text zugrunde liegenden Magisterarbeit beraten hat. Darüber hinaus stellte er mir langfristig einen Raum seines Institutes als Werkstatt und "Forschungslabor" zur Verfügung, ohne den die Arbeit an den Repliken ganz erheblich mühsamer und umständlicher geworden wäre.

Der Saarbrücker Nachbau wäre in dieser Form nicht möglich gewesen gekommen ohne die Orgelbaumanufaktur Hugo Mayer in Heusweiler/Saar. Von ihr wurde uns in Gestalt von Herrn OBM Stephan Mayer und Herrn OBM Andreas Morgens fundamentale Hilfe zuteil. Die Orgelbaumanufaktur baute kostenlos einige elementare, aber handwerklich anspruchsvolle Komponenten der Sprechmaschine, stellte in der Folge mehrfach ebenso uneigennützig zahlreiches Material zur Verfügung und stand uns beständig mit ausführlichem Rat zur Seite.

Einen weiteren Teil der Konstruktionsarbeit übernahm ebenfalls selbstlos Dominik Bauer. Er steuerte dafür gleichermaßen handwerkliches Geschick wie auch das nötige Equipment bei und sorgte dadurch für passgenaue Teile.

Als dritte im Bunde der praktischen Konstruktionshelfer sind Herr Schmitz und Herr Limbach von der Mechanischen Werkstatt des Leibniz-Instituts für Neue Materialien gGmbH in Saarbrücken zu nennen. Auch sie haben vor allem im fortgeschrittenen Stadium meiner Arbeit einiges an kniffligen konstruktiven "Kleinigkeiten" für uns übernommen und waren auch stets mit praktischem Rat zur Stelle.

Die Anfertigung der Saarbrücker Replik der Sprechmaschine Kempelens wäre für alle Beteiligten um ein vielfaches mühsamer gewesen, hätten wir nicht auf die umfassenden und ausführlichen Arbeiten und Dokumentationen von Herrn Prof. Gábor Olaszky und Frau Prof. Maria Gósy vom Kempelen Farkas Speech Research Laboratory, Research Institute for Linguistics in Budapest zurückgreifen können. Die uns zur Verfügung gestellten umfangreiche Informationen über den einige Jahre zuvor dort entstandenen Nachbau halfen, einige der grundsätzlichen Probleme bei der Konzeption und Konstruktion des unsrigen zu lösen.

Sehr herzlich zu danken habe ich auch dem Deutschen Museum in München, insbesondere in Person von Frau Dr. Silke Berdux und Herrn Franz Huber. Durch ihre sehr bereitwillige und großzügige Hilfe war es mir möglich, das im Deutschen Museum aufbewahrte Exemplar der *Sprechmaschine* nicht nur intensiv in Augenschein zu nehmen, sondern auch umfassend zu vermessen und zu dokumentieren.

Abschließend sei noch all denjenigen gedankt, die sich als Versuchspersonen oder als "naive" Gesprächspartner zur Verfügung gestellt haben und dadurch dieser Arbeit erst weiter- und schließlich zur Fertigstellung verholfen haben.

6. Bibliographie

- Adelung, W. (2003). *Einführung in den Orgelbau* (2. Auflage der 2. Ausgabe), Kassel: Bärenreiter.
- Anonymus (1783). Rezension von ‚Lettres de M. Charles Gottlieb de Windisch, sur le jouer d'echecs de M. Kempelen. *Journal des Scavans*, 629-630.
- Anonymus (1784a). Ueber Herrn von Kempelens Schach=Spieler und Sprach= Maschine. Zweeter Brief. *Der Teutsche Merkur*, 1. St., 178-182.
- Anonymus (1784b). Schreiben über die Kempelische Schachspiel- und Redemaschine.

- Hessische Beyträge zur Gelehrsamkeit und Kunst*. Bd. 1, Nr. 3, 475-487, Frankfurt.
- Anonymus (2008a). Artikel "Justus Chrstian Loder". http://de.wikipedia.org/wiki/Justus_Christian_Loder (Version vom 19. August 2008).
- Anonymus (2008b). Artikel "Von Kempelen and another mechanical machine", <http://www.limsi.fr/Individu/cda/sonsCdA97.html> (Version vom 01. September 2008).
- Bennett, S. (1983). A 3-year longitudinal study of school-aged children's fundamental frequencies. *Journal of Speech & Hearing Research* 26, 137-141.
- Brackhane, F. & Trouvain, J. (2008) What makes "mama" and "papa" acceptable? Experiments with a replica of von Kempelen's speaking machine. *Proc. 8th Int. Seminar on Speech Production 2008*. 329-332.
- Brekke, H. E. & Wildgen, W. (1970). Einleitung zum Faksimile Neudruck des *Mechanismus der menschlichen Sprache* Wolfgang von Kempelens. Stuttgart: Friedrich Frommann Verlag (Günther Holzboog).
- Broecke, M. van den (1983). Wolfgang von Kempelen's speaking machine as a performer. Marcel van den Boeke, Vincent van Heuven & Wim Zonneveld *Studies for Antonie Cohen*. Dordrecht: Foris Publications.
- Bosch, M., Döhring, K. & Kalipp, W. (2007). *Lexikon Orgelbau*. Kassel: Bärenreiter.
- Busch, H. J. & Geuting, M. (Hg.) (2007). *Lexikon der Orgel*. Laaber: Laaber Verlag.
- Dom Bedos de Celles (1766). *L'art du facteur d'orgues*. Paris.
- Dudley, H. & Tarnoczy, T. H. (1950). The speaking machine of Wolfgang von Kempelen. *J. Acoust. Soc. Am.* 64 (2), 151-166.
- Ebert, J. J. (Hg.) (1785). *Nachricht von dem berühmten Schachspieler und der Sprachmaschine des K. K. Hofkammerraths Herrn von Kempelen*. Leipzig: Müllersche Buchhandlung.
- Euler, L. (1775). *Lettres à une Princesse d'Allemagne*. Tome second. Bern.
- Felderer, B. & Strouhal, E. (2004). *Kempelen – zwei Maschinen*. Wien: Sonderzahl.
- Fukui, K., Ishikawa, Y., Shintaku, E. et al. (2008). Vocal cord model to control various voices for anthropomorphic talking robot. *Proc. Int. Seminar on Speech Production*. 341-344.
- Grassegger, H. (2004). Von Kempelen and the physiology of speech production. *Grazer Linguistische Studien* 62, 37-49.
- Gessinger, J. (1994). *Auge & Ohr – Studien zur Erforschung der Sprache des Menschen 1700-1850*. Berlin: de Gruyter.
- Goethe, J. W. von (1893). *Goethes Werke, herausgegeben im Auftrage der Großherzogin Sophie von Sachsen*. IV. Abtheilung, 12. Band, o.O.
- Hindenburg (1784). *Ueber den Schachspieler des Herrn von Kempelen – nebst einer Abbildung und Beschreibung seiner Sprachmaschine*. Leipzig: Müller.
- Huckvale, M. (2009). <http://www.phon.ucl.ac.uk/home/mark/vowels/> (Version vom 03. Februar 2009).

- Ingrisano, D., Weismer, G. & Schuckers, G. H. (1980). Sex identification of preschool children's voices. *Folia Phoniatrica* 32, 61-69.
- Jackson, Philip J.B. (2005). Mama and papa: the ancestors of modern-day speech science. *Smith, Chr. W. M. (Hg.), The Genius of Erasmus Darwin*. Vt., Ashgate: Burlington, 217-236.
- Kempelen, W. von (1791a). *Wolfgangs von Kempelen k. k. Wirklichen Hofraths Mechanismus der menschlichen Sprache nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine*. Degen, Wien. Reprint 1970, Stuttgart: Friedrich Fromman Verlag (Günther Holzboog).
- Kempelen, W. von (1791b). *Le Mécanisme de la parole suivi de la description d'une machine parlante*. Wien : Degen.
- Klein, C. (2005). Acoustic and perceptual gender characteristics in the voices of pre-adolescent children. *Phonus – Forschungsbericht des Instituts für Phonetik der Universität des Saarlandes* Nr. 9, Saarbrücken, 221-329.
- Klotz, H. (1965). *Das Buch von der Orgel*. 7. Auflage, Kassel: Bärenreiter.
- Köster, J.-P. (1972). *Historische Entwicklung von Syntheseapparaten zur Erzeugung statischer und vokalartiger Signale nebst Untersuchungen zur Synthese deutscher Vokale*. (Hamburger Phonetische Beiträge – Untersuchungen zur Phonetik und Linguistik Bd. 4) Hamburg: Helmut Buske.
- Kohler, K. (2000). The future of phonetics, *J. Int. Phonetic Association* 30, 1-24.
- Kratzenstein, Chr. G. (1781). *Tentamen resolvendi problema ab academia scientiarum imperiali petropolitana ad annum 1780 publice propositum*. o. O.
- Liénard, J.-S. (1969). Reconstruction de la machine parlante de Kempelen. IV. *Budapest Akusztikal Konferencia*.
- Liénard, J.-S. (1991). From speaking machines to speech synthesis. *Proc. 12th ICPhS Aix-en-Provence, Vol. 1*, 18-27.
- Lingard, R. (1985). *Electronic Synthesis of Speech*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayr, J. (2000). *Joseph Gabler Orgelmacher*. Biberach: Biberacher Verlagsdruckerei.
- Menger, Reinhardt (1973). *Das Regal*. Inauguraldissertation, Tutzing: Hans Schneider.
- Mersenne, M. (1636). *Harmonie Universelle: Contenant la Théorie et la Pratique de la Musique*, Paris.
- Metzger, W. (1999). *Gestalt-Psychologie. Ausgewählte Werke*, Hg. von M. Stadler und H. Crabus, Frankfurt: Kramer.
- Müller, M. (2008). Christian Gottlieb Kratzenstein und die Durchschlagzunge. *Georg Joseph Vogler – Umbrüche im Orgelbau*. Bd. II. Berlin: Pape Verlag, 141-148.
- Niemann, W. (1922). Sprechende Figuren – Ein Beitrag zur Vorgeschichte des Phonographen. *Geschichtsblätter für Technik und Industrie*, Bd. VII 1920. Verlag der Quellenforschungen zur Geschichte der Technik und Industrie, 2-30.
- Nikléczy, P. & Olaszy, G. (2003). A reconstruction of Farkas Kempelen's speaking machine. *Proc. Eurospeech 2003 – Geneva*, 2453-2456.

- Nikléczy, P. & Olaszy, G. (2004). Kempelen's speaking machine from 1791: Possibilities and limitations (recovering a 200 year-old technology). *Grazer Linguistische Studien* 62, 111-120.
- Ohala, J. & Riordan, C. J. (1979). Passive vocal tract enlargement during voiced stops. *J. Acoust. Soc. Am.* **65**(1), 89-92.
- Ohala, J. (1983). The origin of sound patterns in vocal tract constraints. In: *MacNeilage, P. F. (Hg.), The Production of Speech*. New York: Springer.
- Oordt, H. W. A. van (1963). Development of the frequency range of the voice in children. *Folia Phoniatrica* 15, 289-298.
- Paget, R. (1930, Reprint 1963). *Human Speech*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Perkell, J. (1969). *Physiology of Speech Production: Results and implications of a Quantitative Cineradiographic Study*. Cambridge, Mass./London.
- Peter, B., Stoel-Gammon, C. & Kim, D. (2008). Octave equivalence as an aspect of stimulus-response similarity during nonword and sentence imitations in young children. *Speech Prosody* 2008, 731-734.
- Pompino-Marschall, B. (1991). Wolfgang von Kempelen und seine Sprechmaschine – Eine biographische Notiz zum 200. Jahrestag der Publikation seines ‚Mechanismus der menschlichen Sprache‘. *Forschungsberichte des Instituts für Phonetik und Sprachliche Kommunikation der Universität München* 29, 181-252.
- Pompino-Marschall, B. (2004). Von Kempelen's contribution to the theory of acoustic articulation. *Grazer Linguistische Studien* 62, 145-159.
- Pompino-Marschall, B. (2005). Von Kempelen et al. - Remarks on the history of articulatory acoustic modeling. *ZAS Papers in Linguistics* 20.
- Ptacek, P. & Sander, E. (1966). Age recognition from voice. *Journal of Speech & Hearing Research* 9, 273-277.
- Reininger, A. (2007). *Wolfgang von Kempelen – Eine Biografie*. Wien: Praesens.
- Rm. (1784). Windisch, K. G. v.: Briefe über den Schachspieler des Hrn. von Kempelen: Rezension. *Allgemeine deutsche Bibliothek*, Bd. 58 (1), 275-280.
- Shadle, Chr. H., Berezina, M., Proctor, M. & Iskarous, K. (2008). Mechanical models of fricatives based on MRI-derived vocal tract shapes. *Proc. 8th Int. Seminar on Speech Production* 2008, 413-416.
- Splinter, S. (2005). *Zwischen Nützlichkeit und Nachahmung – Eine Biographie des Gelehrten Christian Gottlieb Kratzenstein (1723-1795)*. Dissertation. Halle.
- Traunmüller, H. (1994). The auditory perception of children's age and sex. *Int. Conf. on Spoken Language Proc.* 1994, 1171-1174.
- Weinberg, B. & Bennett, S. (1971). Speaker sex recognition of 5- and 6-year-old children's voices. *J. Acoust. Soc. Am.*, **50**(4), 1210-1213.
- Wheatstone, Sir Ch. (1879). Reed organ-pipes, speaking machines, etc. *The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone; Published by the Physical Society of London*, 348-367.
- Willis, R. (1832). Ueber Vocaltöne und Zungenpfeifen. *Annalen der Physik und*

Chemie, Jg 1832, Drittes Stück, 397-437.

Windisch, K. G. (1783). *Karl Gottlieb von Windisch's Briefe über den Schachspieler des Herrn von Kempelen nebst drey Kupferstichen die diese berühmte Maschine vorstellen, herausgegeben von Chr. von Mechel der K. K. und anderer Akademien Mitglieder*. Basel: Mechel.

Zepf, M. (2005). *Die Freiburger Praetorius-Orgel – Auf der Suche nach vergangenem Klang*. Freiburg: Rombach.

7 Anhang

7.1: Tableaus II und X des Mechanismus

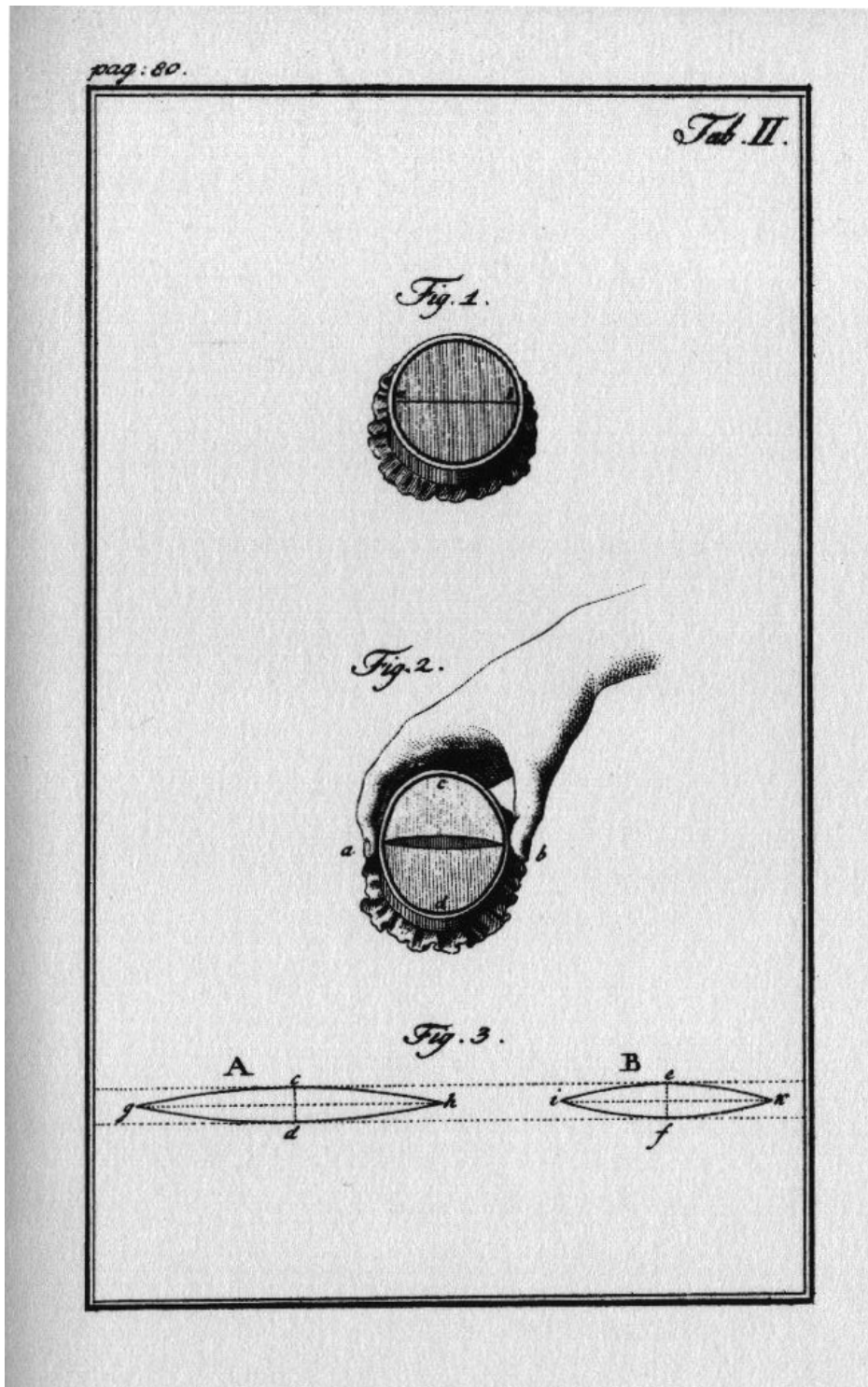


Abb. 19. Die membranöse Pfeife Kempelens

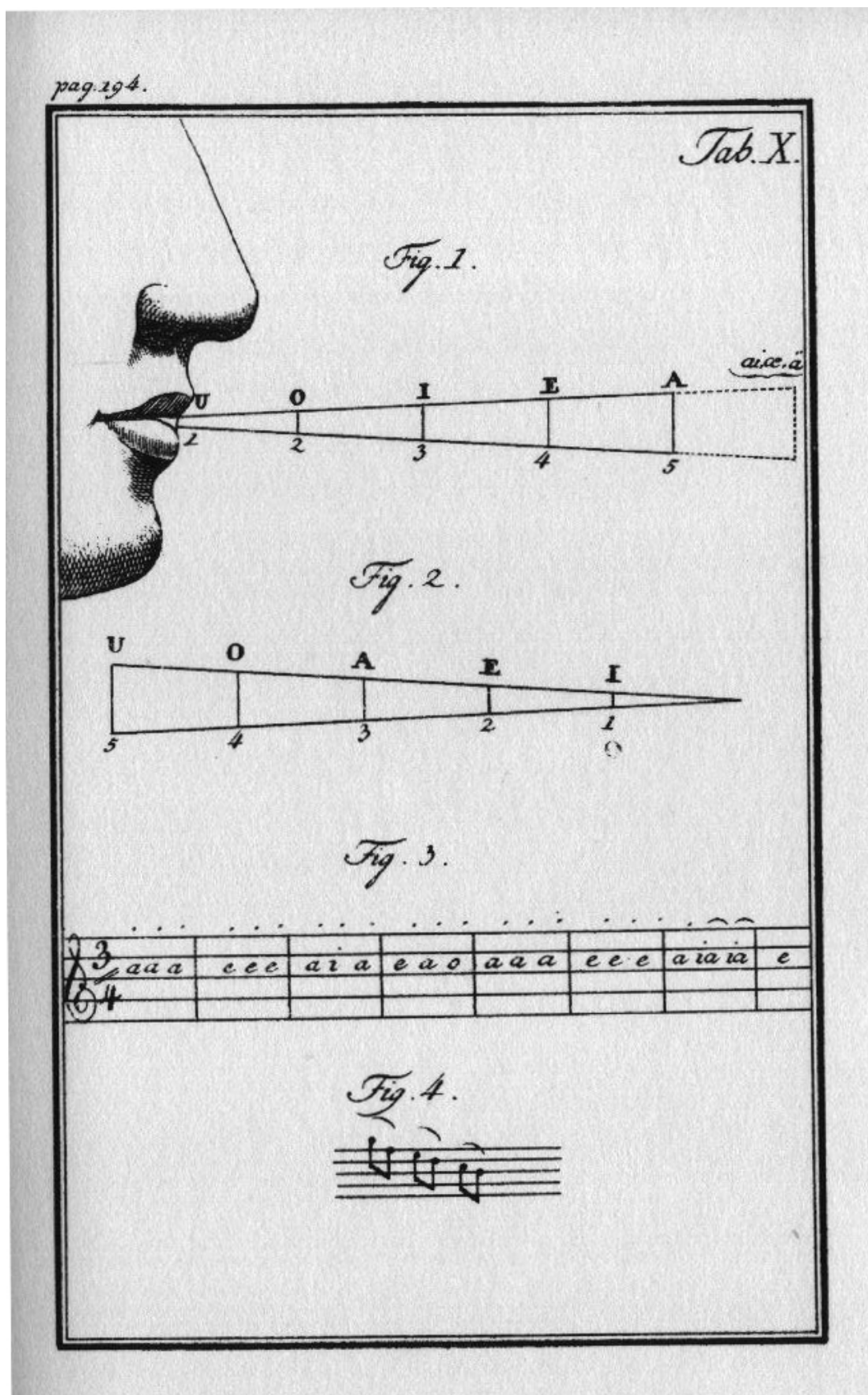


Abb. 20. Das Vokalschema Kempelens

7.2 Abbildung der Sprechmaschine nach Hindenburg (1784)

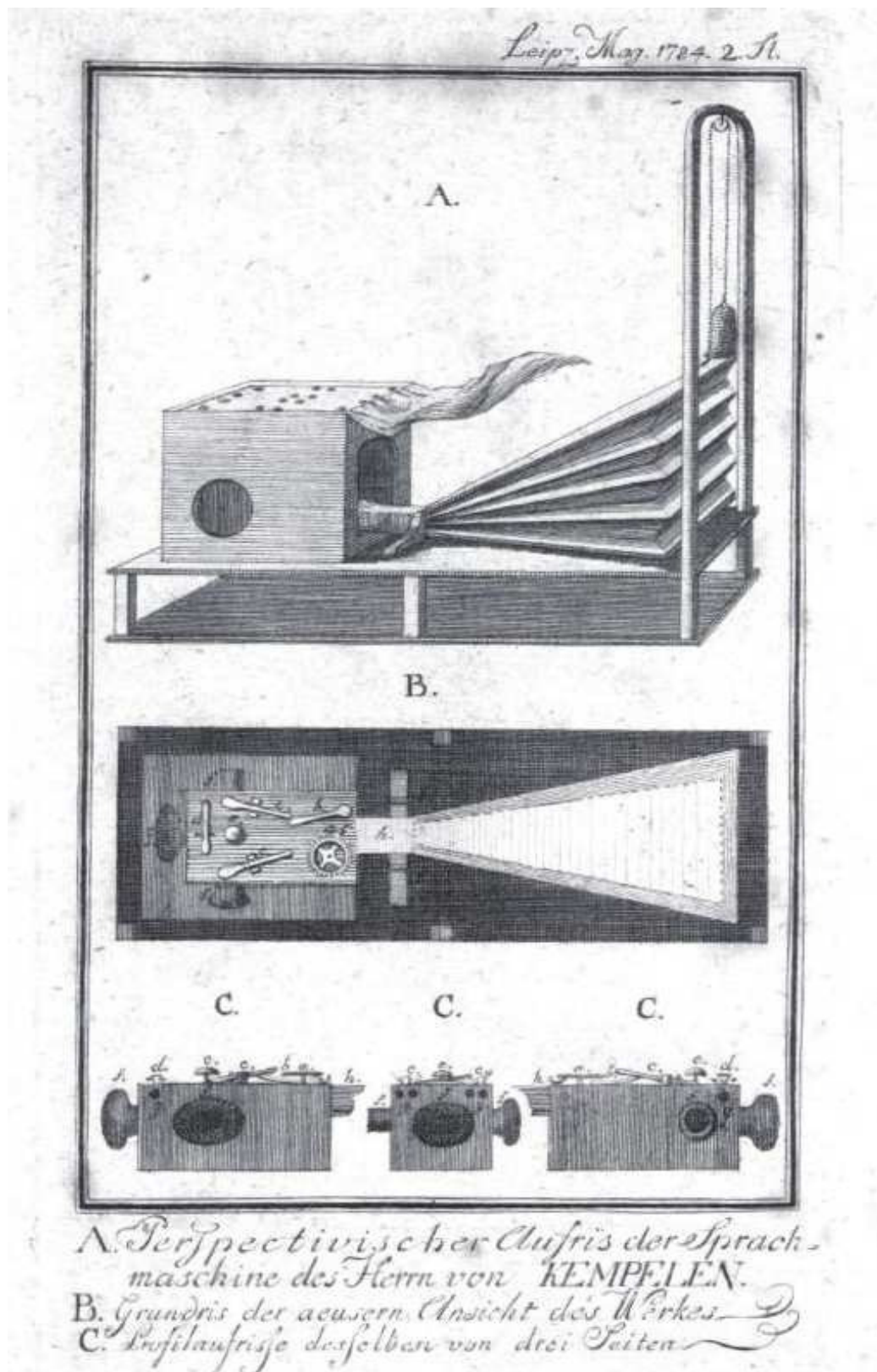


Abb. 21. Abbildung der Sprechmaschine in Hindenburg (1784)

7.3 Abbildungen der erhaltenen Nachbauten der Sprechmaschine¹

7.3.1 Wheatstone 1835 (London)

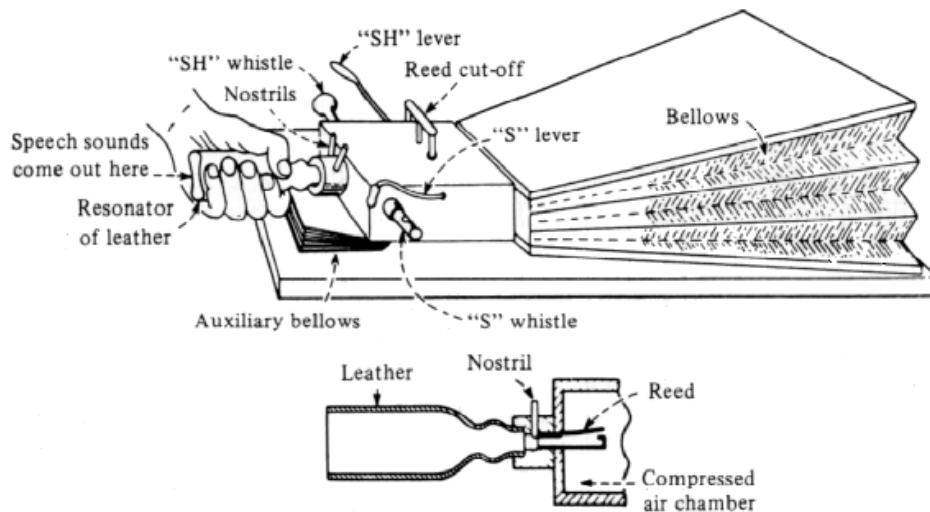


Abb. 22. Wheatstones Replik der Sprechmaschine (Paget 1930: 18).

7.3.2 Anonymus vor 1900 (Wien/München)



Abb. 23. Münchner Replik (Anonymus), Gesamtansicht (historisches Foto o.J., Archiv Deutsches Museum)

¹ Soweit diese dem Autor bislang bekannt wurden. Einzig von der Replik Marcel van den Broeckes gelang es nicht, eine verwertbare Abbildung zu erhalten.

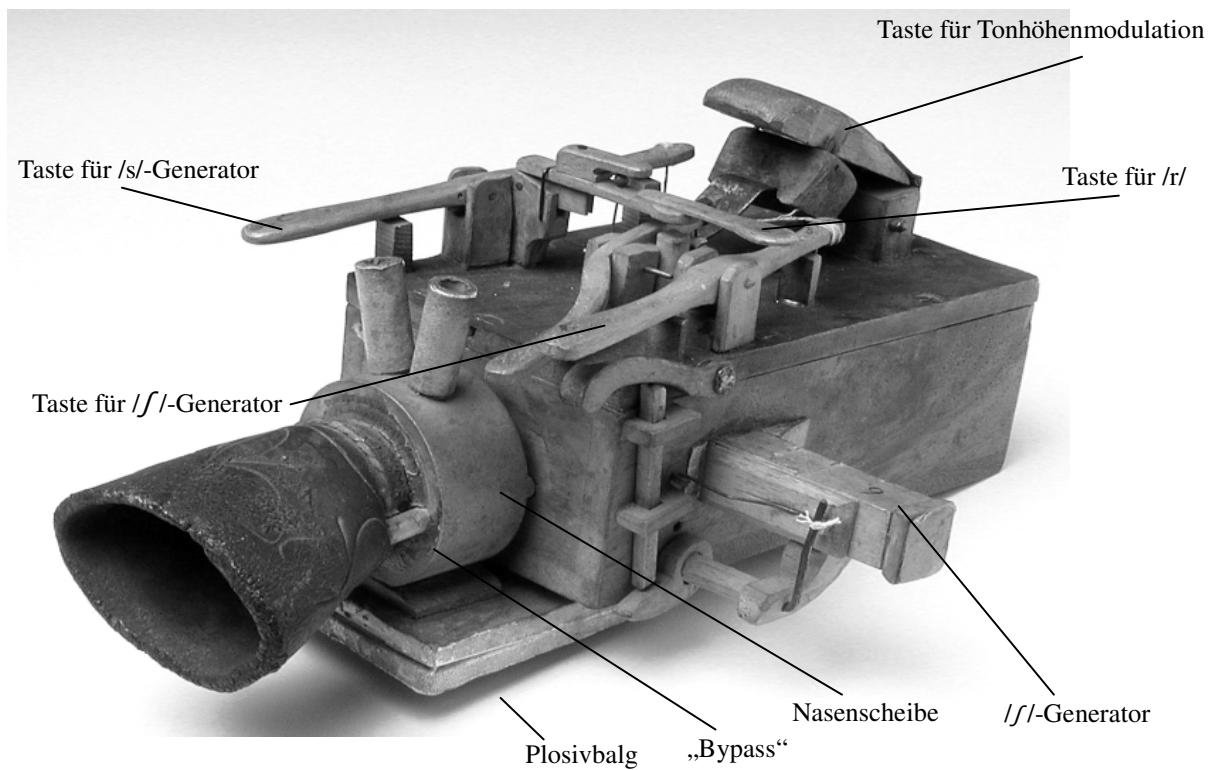


Abb. 24. Die Windlade in geschlossenem Zustand der Münchner Replik (Anonymus).

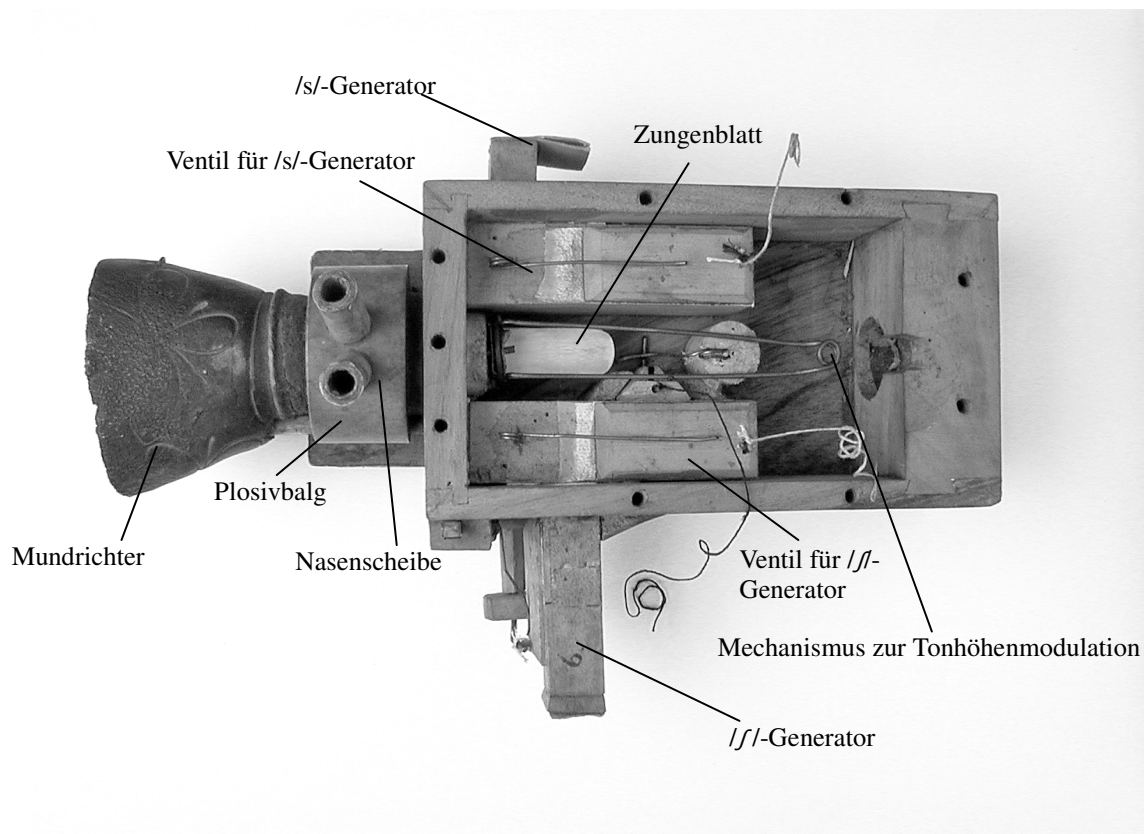


Abb. 25. Die Windlade in geöffnetem Zustand der Münchner Replik (Anonymus).

7.3.3 Liénard 1968 (Paris)



Abb. 26. Windlade und Blasebalg (teilweise) des Nachbaus von Liénard (Paris).

7.3.4 Howard 1993 (York)



Abb. 27. Windlade und Blasebalg des Nachbaus von Howard (York).

7.3.5 *Durin 2001 (Montluçon)*

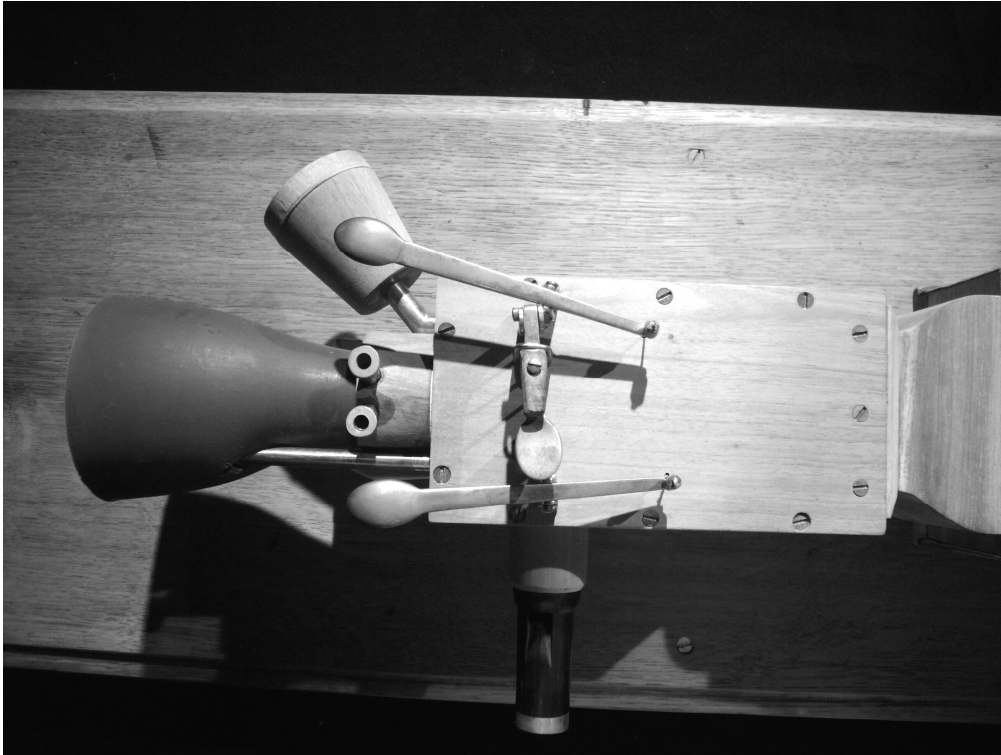


Abb. 28. Windlade des Nachbaus von Durin (*Montluçon*).

7.3.6 *Nikléczy/Olaszy 2001 (Budapest)*

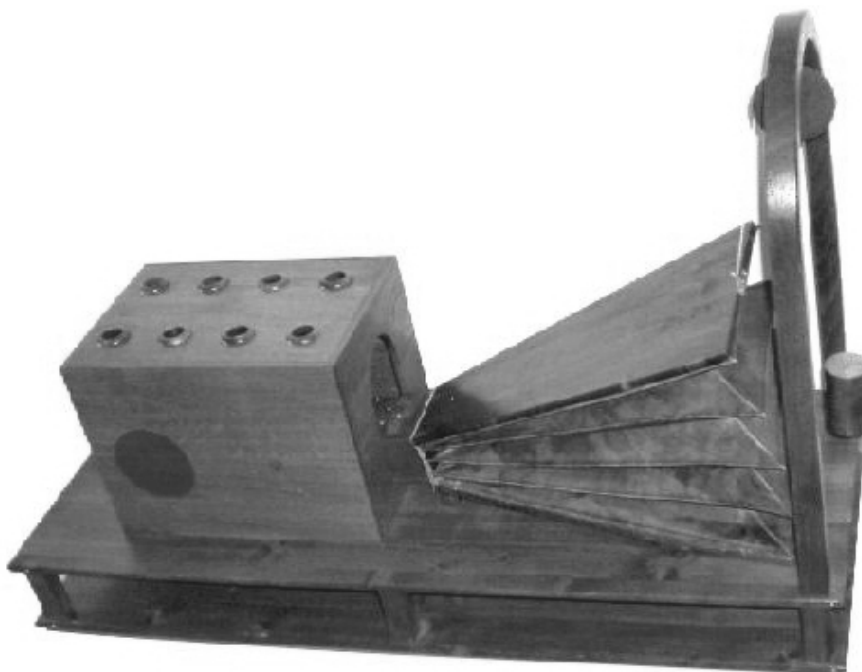


Abb. 29. Gesamtansicht des Nachbaus von Nikléczy & Olaszy (Budapest).

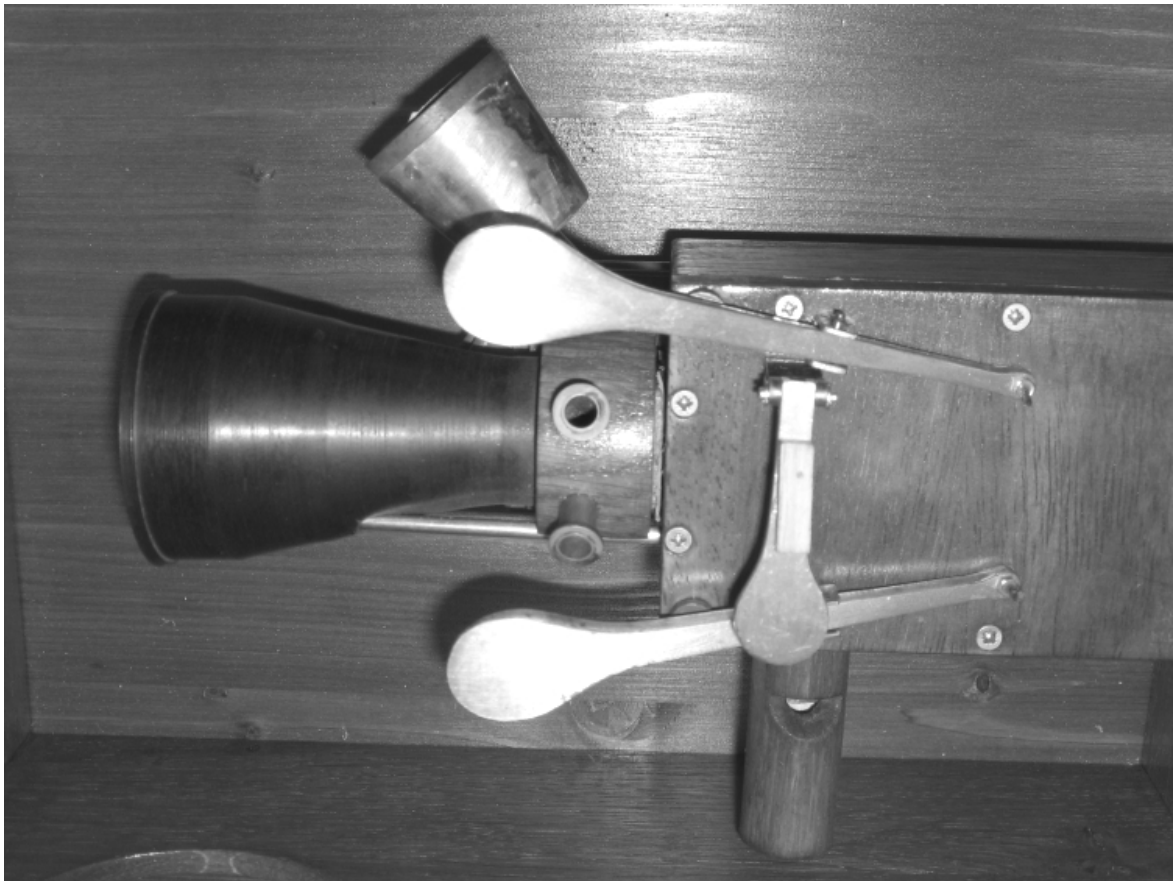


Abb. 30. Windlade des Nachbaus von Nikléczy & Olaszy (Budapest).

7.3.7 Felderer/Strouhal 2004 (Wien)

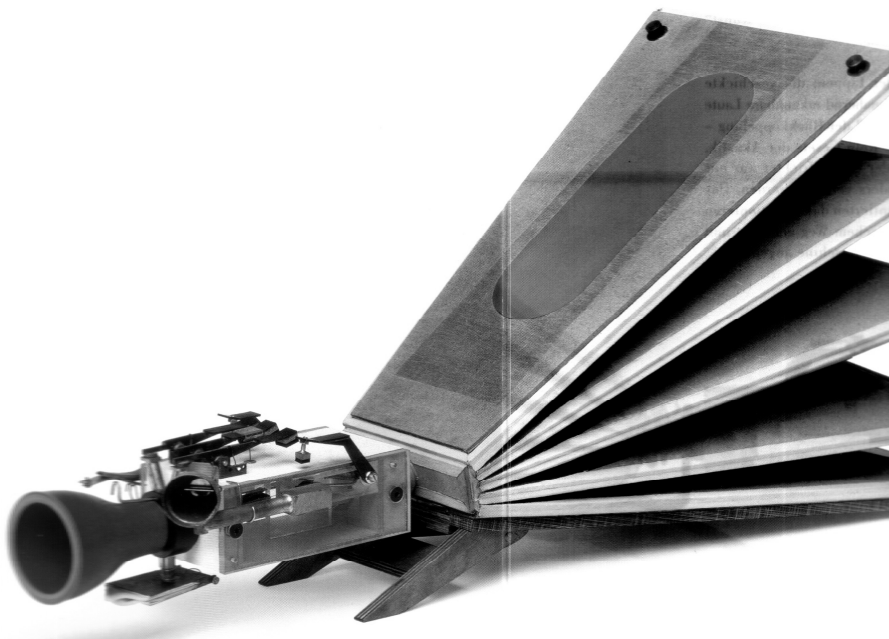


Abb. 31. Gesamtansicht des Nachbaus von Felderer & Strouhal (Wien).

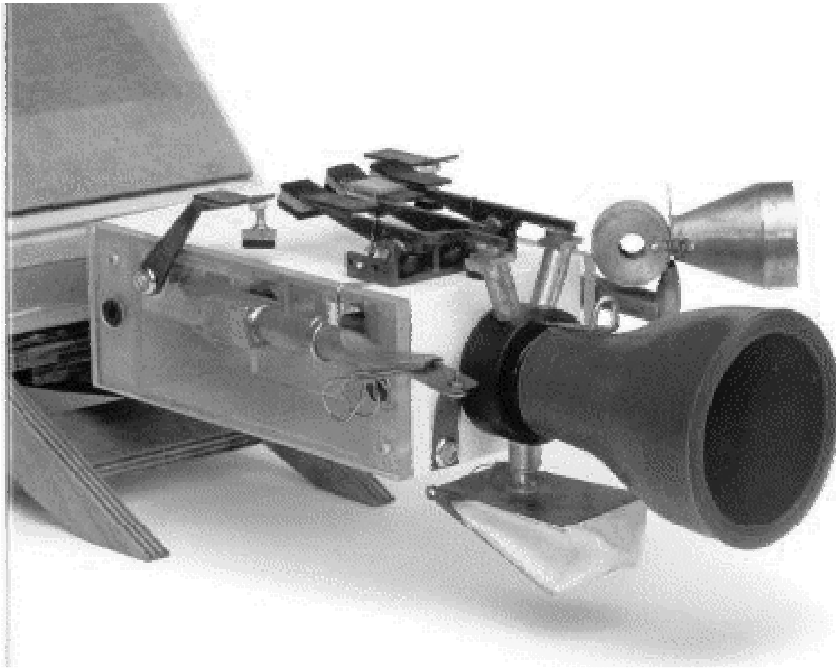


Abb. 32. Windlade des Nachbaus von Felderer & Strouhal (Wien).

7.3.8 *Brackhane/Bauer 2007-09 (Saarbrücken)*

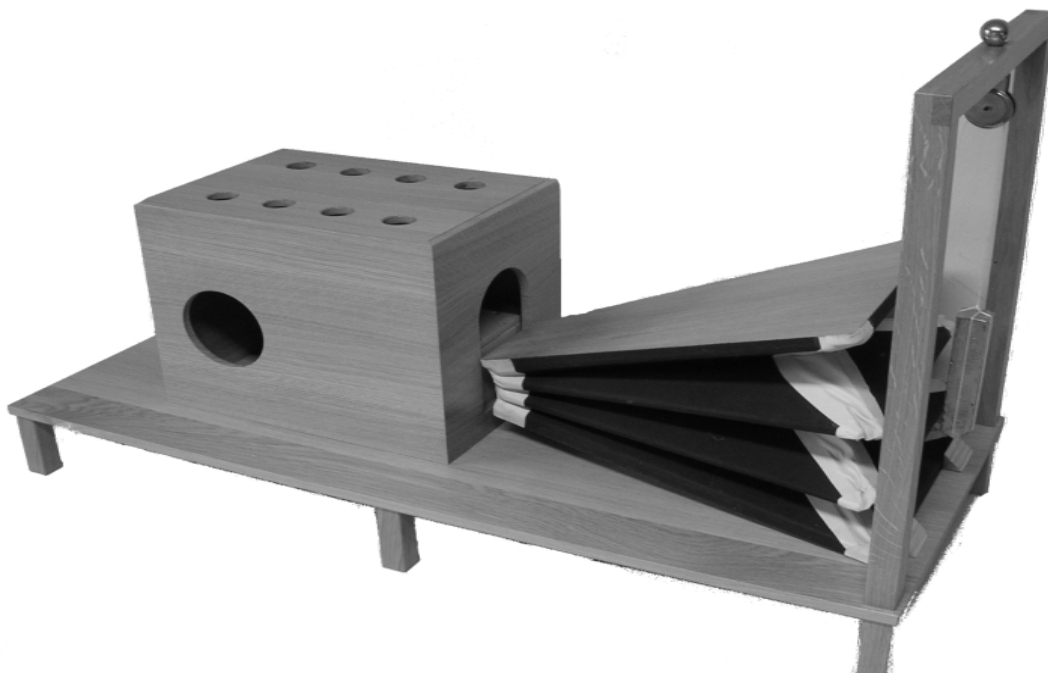


Abb. 33: Außenansicht des Nachbaus von Brackhane & Bauer (Saarbrücken) mit Balg und Außenkasten.

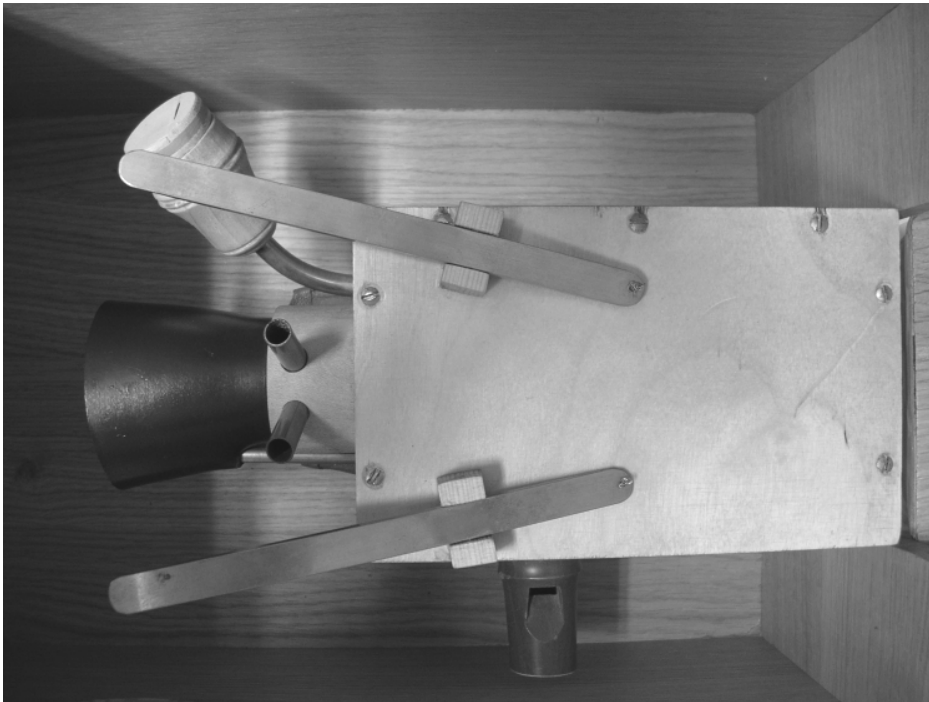


Abb. 34: Die ältere Windlade des Saarbrücker Nachbaus. An Aufbauten zu erkennen sind (entgegen dem Uhrzeigersinn) der /s/-Generator mit darüber ragender dazugehöriger Taste, der Mundtrichter und der Nasenraum mit den „Nasenlöchern“ (moderne Zungenpfeife mit schmalem Messingzungenblatt), die Taste für den /ʃ/-Generator, der /ʃ/-Generator.

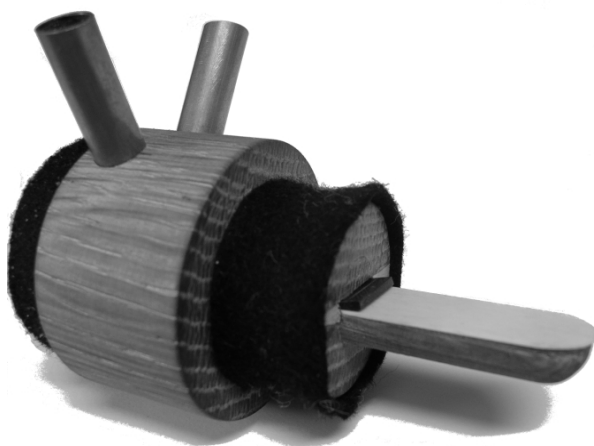


Abb. 35: Saarbrücker Replik (Brackhane/Bauer), Die nach dem Vorbild des Münchener Exemplars angefertigte historisierende Zungenpfeife mit eingelegtem breitem Elfenbeinzungenblatt und Nasenraum mit "Nasenlöchern".

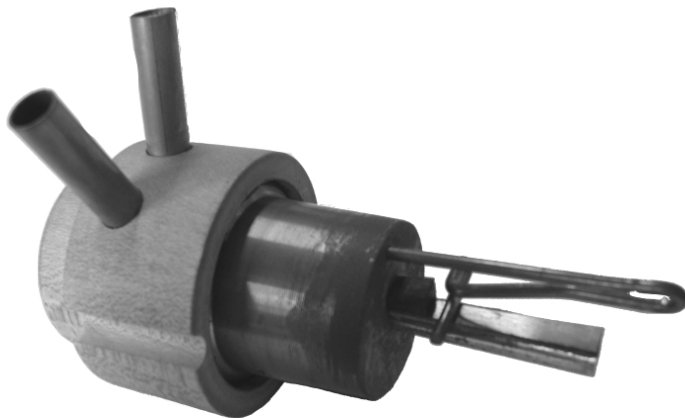


Abb. 36. Saarbrücker Replik (Brackhane/Bauer): Die moderne Zungenpfeife mit eingelegtem schmalen Messingzungenblatt und auf dessen Nuss aufgesetzter Nasenscheibe.



Abb. 37. Saarbrücker Replik (Brackhane/Bauer): Die für die Aufnahme einer durchschlagenden Zunge vorbereitete Nuss mit integrierter Nasenscheibe.

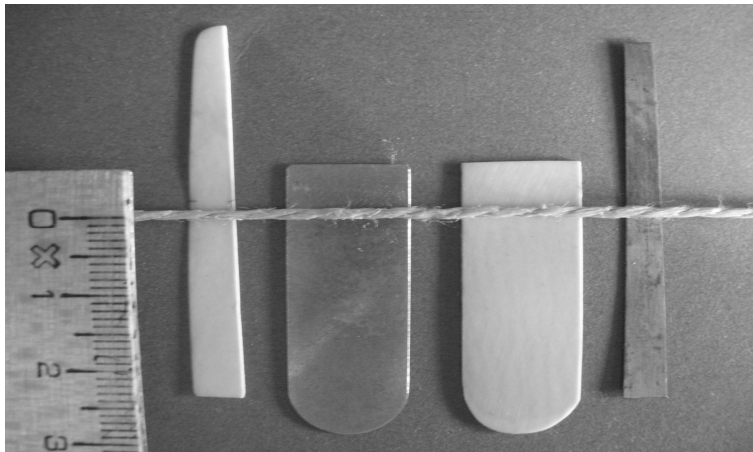


Abb. 38. Saarbrücker Replik (Brackhane/Bauer): Die vier Zungenblätter. Von links nach rechts: schmales Elfenbeinblatt, breites Messingblatt, breites Elfenbeinblatt (historisch), schmales Messingblatt. Die Linie bezeichnet die jeweilige schwingende Länge der Blätter. Maße in cm.

7.3.9 Brackhane/Mayer 2009 (Dresden/Paderborn) (Abb. 39+40)



Abb. 39. Gesamtansicht der beiden baugleichen Repliken von Brackhane & Mayer (2009).

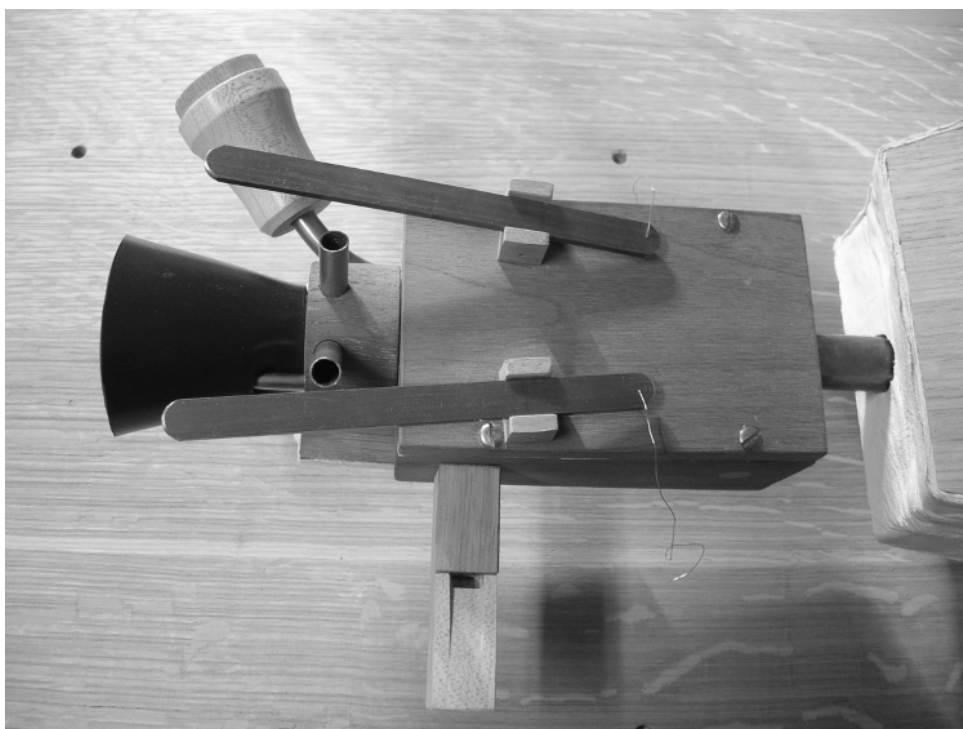


Abb. 40. Windlade einer der Nachbauten von Brackhane & Mayer.

7.4 Exkurs zur Konstruktion von Lingualpfeifen

Das Funktionsprinzip einer Lingual- oder auch Zungenpfeife ist das folgende (vgl. Abb. 56): Ein dünnes, meist schmalrechteckiges Blättchen aus Metall – *Zunge* oder *Zungenblatt* genannt – liegt auf einem Rohrsegment aus Holz oder Metall, der *Kehle*, das in seiner Form einem der Länge nach halbierten hohlen Zylinder mit geschlossenem unteren Ende ähnelt. Die *Kehle* mit der darauf liegenden *Zunge* ist in der mittigen Bohrung der Unterseite eines eckigen oder runden Blocks aus Holz oder Blei, der *Nuss* befestigt. Auf der Oberseite der *Nuss* geht diese Bohrung in einen Resonator, den sog. *Becher* über. Die Unterseite der *Nuss* mit *Kehle* und *Zunge* steckt in einer zylindrisch-konischen Röhre, dem *Stiefel*, an deren Unterseite sich ein Loch für die Luftzufuhr – man spricht im Orgelbau vom *Wind* – befindet. Strömt nun durch dieses Loch Wind in den Stiefel, entsteht in diesem ein Überdruck. Hierdurch wird die auf der *Kehle* liegende *Zunge* hochgedrückt, der *Wind* strömt durch *Kehle*, *Nuss* und *Becher* ins Freie. Nach dem Bernoulli-Prinzip entsteht nun aber im *Stiefel* ein Unterdruck, der die *Zunge* wieder fest auf der *Kehle* aufliegen lässt und den Luftstrom stoppt, wodurch ein neuerlicher Überdruck im Stiefel entsteht. Das Prinzip der Luftanregung ist also im Falle der Lingualpfeife ein höchst ähnliches wie bei der menschlichen Stimmgebung, wenngleich im

letzteren Falle zwei Elemente gegeneinander schwingen, wogegen in ersterem nur ein Element – die *Zunge* – schwingt und das zweite – die *Kehle* – starr ist.

Der Klangcharakter einer Zungenpfeife ist von zahlreichen Faktoren abhängig, so beispielsweise von der Breite und Stärke eines *Zungenblattes* in Relation zu seiner Länge. Die Konstruktion der *Kehle* ist ebenfalls maßgeblich: Sind die Seiten der Kehle parallel und der vordere Abschluss gerundet, bewirkt dies u.a. ein schnelleres Ansprechen des Zungenblattes auch bei niedrigem Druck. Eine nach diesen Grundsätzen konstruierte *Kehle*, eine sog. *Französische Löffelkehle*, benutzte auch Wolfgang von Kempelen. Der andere Typus von *Kehlen* wird häufig bei eher schmalen *Zungenblättern* angewendet, die Kehlenseiten laufen hier nicht parallel, sondern leicht konisch, die Oberseite der Kehle ist nicht wie bei den französischen Kehlen vollständig offen, sondern teilweise geschlossen. Eine derartige *Deutsche Spitzkehle* fand für die moderne Zungenpfeife Verwendung.

Nicht zuletzt sind Form und Mensur des auf der Nuss aufsitzenden *Resonators*, des sog. *Schallbechers*, von ganz erheblicher Bedeutung für den Klang. Grundsätzlich gilt, dass konische (also von der Nuss an nach oben hin immer weiter werdende) Schallbecher sämtliche Teiltöne der Zunge gleichmäßig verstärken, während zylindrische Resonatoren dies nur bei den ungeraden Teiltönen tun. Je kürzer der Resonator ist, desto weniger formenden Einfluß besitzt er natürlicherweise auf den Klang.

Kratzenstein änderte dieses Funktionsprinzip für seine Zwecke in einem entscheidenden Punkt ab: Er konstruierte *Zunge* und *Kehle* so, dass die *Zunge* nicht mehr auf den Rand der *Kehle* aufschlägt, sondern ganz exakt in die Öffnung der *Kehle* hineinpasst und sie auf diese Art in der Ruhestellung verschließt (vgl. Abb. 57 und 58). Strömt nun Luft an die *Zunge*, so schwingt sie nicht nur hoch und wird auf dem Rückweg durch die Ränder der *Kehle* aufgehalten, sondern kann in gleichem Maße, wie sie zuvor hoch geschwungen ist, nun auch nach unten schwingen. Kratzenstein hatte das Prinzip der *durchschlagenden Zunge* (in Gegensatz zur *aufschlagenden Zunge*) entdeckt. Zwar war diese Konstruktion in China bereits seit vielen Jahrhunderten als Eigenschaft der Mundorgel *Sheng* bekannt, doch war sie bis dato in Europa noch nicht bekannt gewesen. Im Orgelbau insbesondere des 19. Jahrhunderts sollte diese Entdeckung ganz wesentliche Bedeutung erhalten.

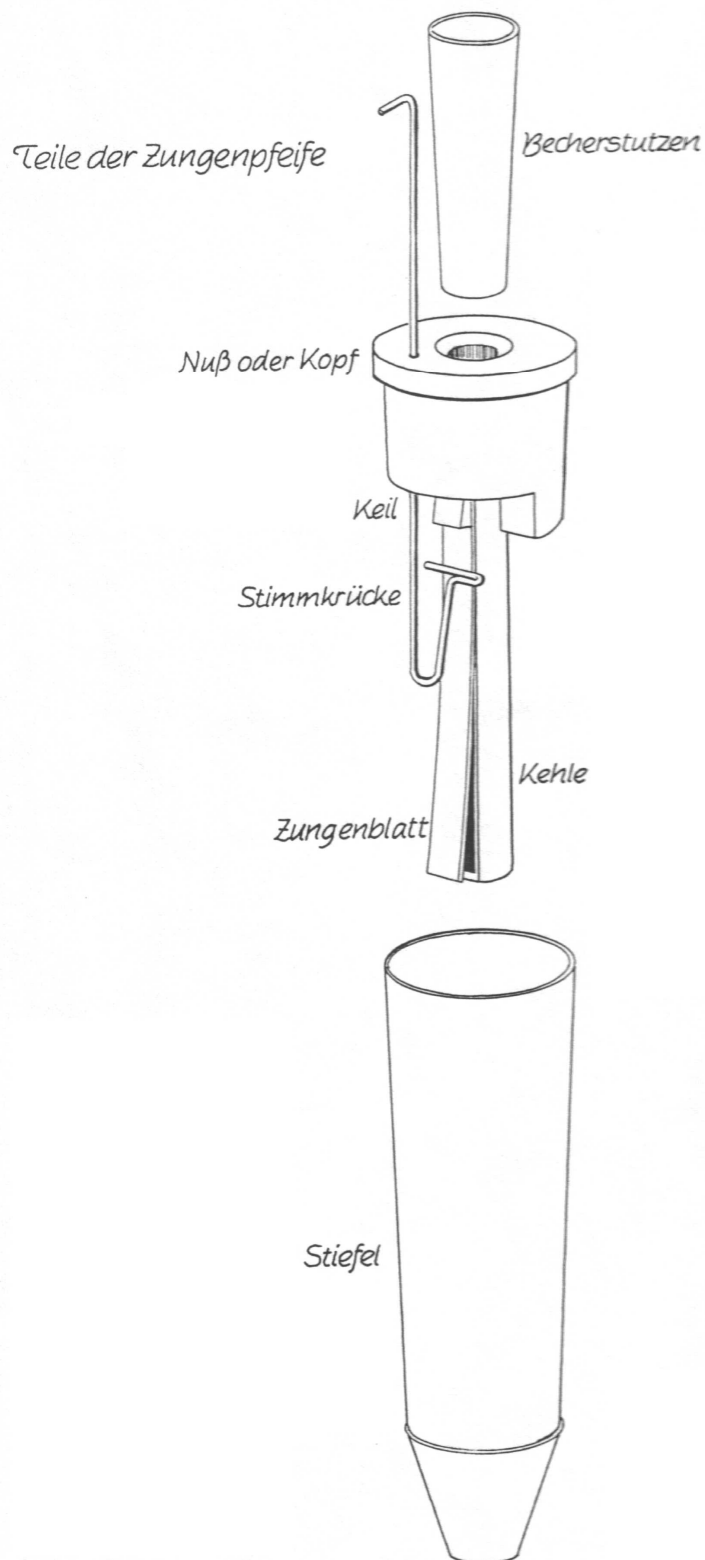
Lingualpfeifen : Details

Abb. 41. Schematische Darstellung einer aufschlagenden Zungenpfeife (aus: http://www.orgelauskunft.de/images/orgel_erklaert/lingual_schema.jpg).

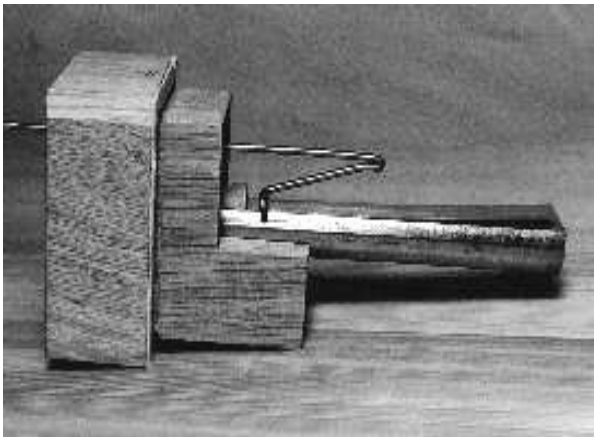


Abb. 42. Nuss mit Kehle und Zungenblatt bei einer aufschlagenden Zungenpfeife.



Abb. 43. Nuss mit Kehle und Zungenblatt bei einer durchschlagenden Zungenpfeife.

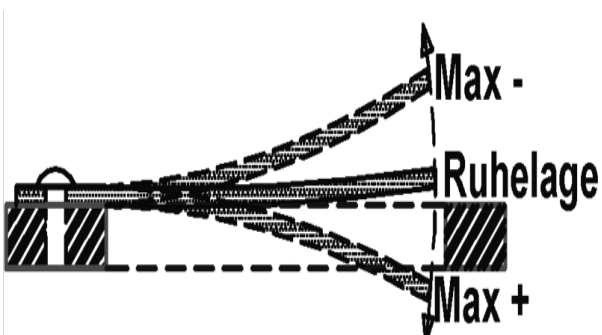


Abb. 44. Schematische Funktionsdarstellung einer durchschlagenden Zungenpfeife (aus: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Reed-schnitt.gif/220px-Reed-schnitt.gif>).